



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERIAS

**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN ALGAS *Eteromorpha* Y  
*Polisyphonia* EN LA ZONA COSTERA DE LA BAHÍA DE CHETUMAL,  
QUINTANA ROO.**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**LICENCIADA EN INGENIERIA AMBIENTAL**

**Presenta:**

**AGLAYDE LUCELY OJEDA CALDERON**

Chetumal, Quintana Roo, México, Mayo 2006.

Ø49760



**UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERIAS**



**Tesis Elaborada bajo la Supervisión del Comité de Asesoría y aprobada como Requisito Parcial para obtener el grado de:**

**Licenciada en Ingeniería Ambiental**

**Comité**

Director: \_\_\_\_\_  
Q.F.B José Luis González Bucio

Asesor: \_\_\_\_\_  
Dr. José Manuel Carrión Jiménez

Asesor: \_\_\_\_\_  
M.C Juan Carlos Ávila Reveles

Asesor Suplente: \_\_\_\_\_  
I.Q José Luis Guevara Franco

Asesor suplente: \_\_\_\_\_  
Biol. Laura Patricia Flores Castillo



## RESUMEN

La bahía de Chetumal, está situada en el extremo Sur del Estado de Quintana Roo, al Sureste de la península de Yucatán en México. También es una zona fronteriza que comparten México y Belice. Frente a la ciudad del mismo nombre, tiene conexión con el Río Hondo el cual sirve como límite fronterizo con el país de Belice, Centro América.

La bahía de Chetumal constituye el hábitat de diversas especies vegetales y animales, algunas de las cuales se encuentran amenazadas o en peligro de extinción y posee además la mayor población de manatíes (*Trichechus manatus*) del Caribe Mexicano. Por ello fue declarada como Zona Sujeta a Conservación Ecológica Santuario del Manatí en Octubre de 1996.

La ciudad de Chetumal esta provocando problemas de contaminación en su litoral, ya que no cuenta con un sistema adecuado de drenaje para canalizar sus aguas residuales de la ciudad a la Bahía (descarga por desechos orgánicos de 200 m<sup>3</sup> por día), se ve alterado por la presencia de ortofosfatos debido a la descarga antropogénica, estas descargas se vierten directamente sin tratamiento previo, ya que en la ciudad, no se abastece con las plantas de tratamiento de aguas negras de igual forma no cuenta con relleno Sanitario en basurero municipal, y estos desechos tóxicos son vertidos a la bahía a través del drenaje pluvial y por filtración que pasa al subsuelo y posteriormente al manto freático con desembocadura en la bahía.

Otra costumbre es la canalización de desechos a la red pluvial que se distribuye a lo largo de la zona urbana y con desembocadura en un punto de la bahía. También se considera un sistema de contaminación los agregados 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 maneja desechos químicos tóxicos tales como restos de plaguicidas

organocloradas, melazas, pesticidas etc., situados en nuestro país y en el país circunvecino de Belice C. A. estos desechos pasan al río Hondo, por filtración u otro mecanismo.

Se caracterizó la bahía de Chetumal, en cuanto al contenido de algunos metales pesados. Para ello, empleando la Espectrofotometría de absorción atómica, se determinaron las concentraciones de Ag, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Ba, Hg y As, las macroalgas fueron utilizados como indicadores de contaminación, utilizándose una técnica de Digestión.

Finalmente, podemos discutir que los metales pesados (Al, Hg, Pb, Zn, Ni) encontrados en ambos géneros de Algas, indudablemente tienen un significado importante en tema de contaminación y niveles permisibles.

## **AGRADECIMIENTO.**

Dedico este trabajo a todas y a cada una de las personas que me apoyaron en el transcurso de la carrera. Doy gracias a todos los profesores por la paciencia y sus enseñanzas. Agradezco en especial al profesor José Luis Gonzáles Bucio por la realización de este trabajo. A la UAMN de Azcapotzalco por su apoyo para la primera realización de los análisis.

Pero sobre todo dedico este trabajo a mis padres que con su tiempo y esfuerzo dieron todo lo que tenían para que yo estudiara y me preparara para salir adelante en la vida.

**Gracias a todos los Quiero Mucho y que Dios los bendiga.**

## ÍNDICE GENERAL.

	Página
Resumen	I
Agradecimientos	III
Índice general	IV
Lista de tablas	VI
Lista de figuras	VII
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	10
1.2 Justificación	12
1.3 Objetivos	14
1.3.1 Objetivo General	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
<b>2.0 METODOLOGIA</b>	<b>15</b>
2.1 Equipo	15
2.2 Reactivo	16
2.3 Diseño de muestreo	16
2.3.1 Descripción del área de estudio	17
2.4 Preparación de las algas	22
2.4.1 Digestión de las algas	22
2.5 Determinaciones analíticas <i>"in situ"</i>	23
2.5.1 Temperatura	23
2.5.2 Conductividad	23
2.5.3 Oxígeno Disuelto	24
2.5.4 pH	23
2.5.5 Salinidad	23

2.6	Tratamiento estadístico de los datos	24
2.6.1	Análisis de correlación	25
2.6.2	Análisis de componentes principales	25
<b>3.0</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>26</b>
3.1	Algas	26
3.1.1	Metales pesados	26
3.1.2	Análisis de correlación	29
3.1.3	Análisis de componentes principales	31
3.2	Paramentos fisicoquímicos (Determinaciones analíticas " <i>in situ</i> ")	39
<b>4.0</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>44</b>
<b>5.0</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>45</b>
<b>5.0</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>46</b>

## **ANEXOS**

## Lista de tablas

Tabla 1, Concentraciones medias de metales pesados en Algas, seca 2002 ( $\mu\text{g/g}$ ).	27
Tabla 2, Concentraciones medias de metales pesados en Algas, lluvia 2002 ( $\mu\text{g/g}$ ).	28
Tabla 3, Matriz de correlación de Pearson en algas verdes, seca 2002	29
Tabla 4, Matriz de correlación de Pearson en lagas cafés, seca 2002	30
Tabla 5, Matriz de correlación de Pearson en algas verdes, lluvia 2002	31
Tabla 6, Matriz de correlación de Pearson en algas cafés, seca 2002	31
Tabla 7, Parámetros fisicoquímicos seca 2002.	39
Tabla 8, Parámetros fisicoquímicos lluvia 2002.	39

## Lista de figuras

Figura 1, Mapa de la bahía de Chetumal, Quintana Roo	18
Figura 2, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, seca 2002.	32
Figura 3, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, seca 2002.	33
Figura 4, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, seca 2002.	34
Figura 5, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, seca 2002.	35
Figura 6, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, lluvia 2002.	36
Figura 7, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, lluvia 2002.	37
Figura 8, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, lluvia 2002.	38
Figura 9, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, lluvia 2002.	38
Figura 10, Distribución temporal y espacial de los parámetros Fisicoquímicos en agua, seca 2002.	40

Figura 11, Distribución temporal y espacial de los parámetros Físicoquímicos en agua, lluvia 2002.

41

---

---

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El litoral Mexicano se extiende a lo largo de 10,000 km, y se encuentra cubierto en un 30% a un 35% de lagunas costeras y estuarios, ubicados en las costas del Pacífico, Golfo de México y el Caribe. Los estuarios y lagunas costeras son ecosistemas críticos y claves en el desarrollo socioeconómico del país por la riqueza que encierran en cuanto a diversidad ecológica y las características de dinamismo que presentan. Son sitios muy propicios tanto para la explotación pesquera como para la creación de áreas protegidas de flora y fauna pero que son amenazadas por el desarrollo urbano e industrial. El estudio de la calidad ambiental de estos cuerpos de agua es de gran importancia, pues el deterioro producido por los asentamientos humanos, el desarrollo industrial y agrícola, accidentes fortuitos y el turismo, han llevado desde la modificación hasta la desaparición de las condiciones naturales del medio, siendo uno de los principales factores la contaminación (Botello et al., 1992).

La bahía de Chetumal por sus características y en particular por la amplia variedad de especies marinas, entre las que mas destacan es el manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*) y una especie de delfines, ello motivo a las autoridades desde 1996 a declarar este ecosistema como Área Natural Protegida, "santuario del manatí", sin embargo hasta fecha actual esto no ha sido suficiente para el mantenimiento de la salud de la bahía y mucho menos su respuesta a un saneamiento ambiental, es evidente señalar que el desarrollo poblacional, turístico e industrial esta ocasionando daños a las diferentes especies marinas y también a la población que utiliza esta bahía como balneario.) Es estratégico mencionar que el 1996 se encontró mas de 20,000 bagres muertos (*Ariopsis assimilis*) debido a una contaminación de fuente no localizada, por plaguicidas organoclorados (Álvarez, LMT, 2002 y Ortiz-Hernández *et al.*, 1997).

Debido al continuo desarrollo urbano, agrícola e industrial en la zona costera, ríos, bahías, estuarios y lagunas, se han visto amenazados ante la introducción de

---

numerosas sustancias potencialmente peligrosas tales como el petróleo, metales pesados, plaguicidas organoclorados, compuestos radiactivos y las propias sustancias naturales en exceso (materia orgánica). Estos contaminantes del ambiente marino, han sido detectados en las columnas de agua, en partículas suspendidas, en sedimentos del fondo y en organismos. Las principales vías de entrada a los ambientes estuarinos y marinos son las descargas directas de desagües municipales e industriales, dragado, vaciado de barcos, derrames, entrada de ríos, deposiciones atmosféricas y escurrimientos agrícolas.

En el ecosistema marino, los contaminantes pueden presentar interacciones complejas tanto físicas, biológicas como químicas que influyen en su concentración y en el impacto potencial en los organismos. Cuando se presentan en concentraciones bajas, su efecto crónico es difícil de describir por lo tanto también de evaluar. Por ello, el impacto de las sustancias tóxicas en el ecosistema raramente puede evaluarse usando únicamente variables fisico-químicas y en el estudio y evaluación de la contaminación se requiere de la integración del monitoreo biológico y el monitoreo químico.

Muchos de los contaminantes son altamente tóxicos y estables, pueden resistir a la degradación por muchos años, como es el caso de los metales otros, por ejemplo los compuestos organoclorados, los hidrocarburos de petróleo y los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs) presentan mayor solubilidad en los lípidos que en el agua, por ello los organismos tienden a acumularlos en el tejido adiposo y los organismos de niveles tróficos altos suelen exhibir mayor concentración que los organismos de niveles tróficos bajos. También tienden a acumularse en los sedimentos debido a su fuerte adsorción en la materia particulada, haciéndolos potencialmente tóxicos para los organismos bentónicos y demersales, y cuando se presentan procesos de adsorción, difusión y resuspensión en el sedimento, pueden representar una fuente de contaminantes para el ambiente (Albert, 1990).

---

Es muy probable que la contaminación por metales pesados es proveniente de las fuentes emisoras de los ingenios del país de Belice y México ubicados en la ribera del río Hondo, así como el uso de plaguicidas de fertilizantes en la zona cañera de la propia ribera, también, las descargas directas de aguas residuales a diferentes puntos de la bahía y los residuos sólidos y líquidos de la pequeña industria urbana, tales como, residuos hospitalarios, talleres de automóviles (aceites y lubricantes), etc.

Para poder entender los cambios que se ocasionan en este ecosistema, es imprescindible determinar las concentraciones de los elementos metálicos y parámetros físicos y químicos de manera simultánea en sedimentos y organismos acuáticos y así entender la dinámica, biodisponibilidad en organismos y toxicidad de los metales en la bahía.

Los metales, en su estado puro presentan poco riesgo, a excepción de los que tienen una alta presión de vapor tal como el mercurio y los que pueden estar presentes en forma muy particular en la atmósfera, tal como el vanadio. También se les considera componentes solubles que pueden crear problemas en los ecosistemas acuáticos ya que algunos de los compuestos metal-orgánicos son conocidos como los más tóxicos. El peligro de las descargas de algunos metales dentro del medio ambiente en la forma inorgánica, es que tienden a convertirse en compuestos metal-orgánicos extremadamente tóxicos, a través de la acción biológica de diferentes microorganismos.

No obstante la importancia para las algas Marinas ha sido relevante por su gran variedad y la manera de bioacumular elementos inorgánicos, tales como los metales pesados, existen más formas microscópicas que macroscópicas de algas marinas. El término alga no es fácil de definir. Bold y Wynne (1978) establecen que "las algas comparten con otras plantas las características más obvias, mientras que sus características exclusivas son más sutiles." Trainor (1978) dice que estas plantas "simples" en realidad no son tan simples.

---

Las algas son plantas fotosintéticas no vasculares que contienen clorofila "A" y poseen estructuras reproductoras simples. "Es probable que la diferencia principal entre las algas y las plantas "superiores" más complejas esté en la producción de gametos. En las algas unicelulares, la célula misma puede funcionar como un gameto, mientras que en las algas multicelulares ciertas estructuras especializadas unicelulares o multicelulares son los gametangios (productores de gametos). Es importante hacer notar que cada célula realiza la producción de gametos y que, a diferencia de las estructuras reproductoras de las plantas "superiores" (incluyendo los musgos), no existen células protectoras estériles. Existe una sola excepción, que se notará en la clase de las algas verdes, las Charophyceae. Una segunda característica común a las algas es el cuerpo vegetal "simple" o talo. Con la excepción de las algas pardas mayores (especialmente los quelpos), existe escasa diferenciación tisular. (Chapman, A.R.O 2005).

Las algas marinas comprenden un grupo variado y diverso de organismos fotosintéticos. Las algas microscópicas flotan libremente en el plancton formando el primer eslabón de varias cadenas alimenticias. Sin embargo, las algas grandes o microscópicas son organismos pluricelulares, fijos al fondo marino, aunque existen algunas como sargassum de vida libre. Se distinguen de las plantas terrestres por no poseer un sistema vascular, ni flores, raíces o tallos verdaderos (Aguilar rosas y Diéguez 1993.) Forman la biomasa primaria para todas las comunidades, además de ser como hábitat para animales de importancia ecológica y económica, como el caracol Rosado, aunque otras actúen como filtro de agua (Aguilar Rosas, 1992).

Las macroalgas han sido usadas por el hombre de diferentes formas, como la extracción de fitocoloides y sales, como forraje, fertilizante y fuente de materia prima fermentables para la producción del gas metano (Aguilar Rosas y Aguilar Rosas 1994).

---

Es importante resaltar que las algas en su gran mayoría en la zona de Quintana Roo, son algas pardas (Castillo y Dreckman 1995), las cuales son utilizadas en las costas de otras partes de l mundo como fertilizante o abono , consumo directo y en la medicina tradicional.

Todas las macroalgas poseen clorofila "A", mas otros pigmentos que dan color característicos a cada grupo, se adhieren a diversos sustratos por discos básales, estalones, rizoides o masas rizoidales, constituyen junto con las fanerógamas marinas uno de los productos primarios principales de la materia orgánica de mar (Ganesan, 1993).

Las algas macroscópicas que se encuentran en el ambiente marino pertenecen a una de tres divisiones, Chlorophyta (algas verdes), Phaeophyta ( algas pardas) y Rhadophyta (algas rojas). Aunque solo el 10% de las algas verdes están en al habitad marino, son particularmente importantes en los trópicos, donde existen diversas formas sifonosas y calcificadas. Las Algas rojas son por lo general exclusivamente marinas, al igual que las pardas, mientras que la mayor diversidad de algas rojas se encuentran en aguas tropicales y subtropicales, las algas pardas son mas comunes en aguas cálidas (Chapman, A.R.O 2005).

### **Enteromorpha y Polysiphonia**

Las plantas marinas presentan desde pequeñas formas unicelulares hasta grandes individuos multicelulares, al igual que las plantas terrestres y algas dulceacuícolas. La importancia de las plantas marinas para el ambiente oceánico se manifiesta no solo en su productividad, sino también en diversas formas tales como la prevención de la remoción del sustrato, la filtración del agua y el hecho de que provee un hábitat para los animales (Clinton J. Dawes 1991).

Tabla comparativa de las clorofilas de las microalgas analizadas.

Tipo de algas	Pigmentos fotosintéticos	Flagelos	Reservas alimenticias.	Adicional
Algas verdes	Clorofila a y b	Generalmente 2 (o mas) de tipo látigo	Almidón verdadero	Estructura celular eucariótica, pared celular celulosita, <u>estructuras</u> reproductoras unicelulares.
Algas rojas.	Clorofila a y <sup>+</sup> .d Biliproteinas	No hay	Almidón de florideas.	Estructura celular eucariótica, <u>reproducción</u> sexual oógamica, detalles y <u>procesos</u> que siguen a la reproducción sexual, usualmente complejos, en su mayoría plantas marinas

En la tabla se presenta una comparación de las características de las células procarióticas y eucariotes

Características	Procarióticas	Eucariótica
Genoma	Molécula desnuda en la matriz citoplasmática	Un núcleo verdadero con envoltura nuclear
Cromosoma	Una molécula de ADN circular y simple	Uno o mas cromosomas, cada uno formado de numerosos filamentos de ADN y proteínas básicas, las histomas.
Enzimas de Respiración/oxidación	En la membrana celular y una extensión (el mesosoma)	En membranas especialmente presentes en las mitocondrias
Fotosíntesis	Se presenta en los tilocidos libres en la matriz citoplásmica	En los tilocoides contenidos cloroplastos.

Microfilamentos y microtubulos	Ausentes	En todas las células
Ribosomas	Tamaño de sedimentación 70s	tamaño de sedimentación de 80s en el citoplasma, pero un tamaño mas pequeño de 50 y 60s en las mitocondrias y los cloroplastos
Flagelos	Molécula de proteínas compuestas por flagelina, externas a la membrana celular	Nueve parejas externas complejas y dos microtubulos simples internos compuestos por tubulina y cubiertos por la membrana celular
Pared celular	Si esta presente, contiene mucopolisacaridos, lipopolisacaridos y componentes especiales de las proteínas	Si están presentes, contienen componentes estructurales, por lo general celulosa u otro polisacárido complejo.

Nota. El termino 70s se refiere a la tasa de sedimentación en una centrifuga a una gravedad, temperatura y viscosidad liquida conocida. S es la abreviatura de una unidad Svedburg (71 Clinton J. Dawes 1991).

## Bioacumulación

Proceso de acumulación de ciertos productos dentro de los organismos.

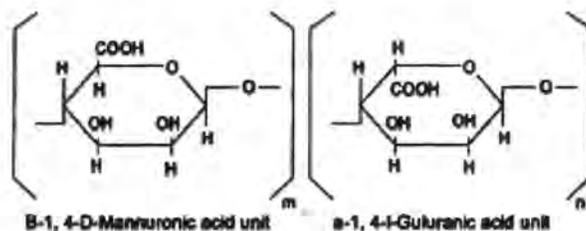
Algunos metales pesados e hidrocarburos clorados son acumulados por los organismos acuáticos. Es por eso que pueden encontrarse concentraciones muy altas de estos elementos químicos en tejidos biológicos, aún cuando se hallen extremadamente diluidos en el medio acuático circundante. Los procesos de bioacumulación 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, J.E.; Moreno, V.J. & A. Pérez. 1991)

Las algas absorben básicamente en sorción al interior de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células de biomasa

vivas; varios estudios incluyen el uso de bacterias Gram+, Gram-, algas marinas, etc.



En las algas los principales bioadsorbentes son los alginatos, formados de cadenas que incluyen al ácido manurónico y glucurónico como monómeros.



### Factores ambientales que influyen en la toxicidad de los metales

La acumulación de metales depende del estado fisicoquímico de las células, y de variables ambientales como el PH, el potencial redox, la salinidad, la temperatura, la cantidad de nutrientes, la concentración del metal, la iluminación, etc.

### El pH

Uno de los factores más importantes que modifica el estado fisicoquímico del metal es el PH. En medio ácido, los metales se encuentran en forma iónica, por lo que puede haber una competencia entre estos iones y los protones, lo que puede reducir la toxicidad del metal.

Cuando el PH disminuye, el Cd, Cu y Zn empiezan a ser menos tóxicos, y el Pb lo es aún más. El Aluminio alcanza su mayor toxicidad cerca del rango de PH 5.8-6.2.

---

---

Altas concentraciones de Ca, Mg y Mn reducen la toxicidad de una variedad de metales pesados por impedir su paso a través de la membrana. Esto puede ser debido a la competición por el cambio de iones o por la precipitación de compuestos de carbonato, bicarbonato o hidróxidos de calcio y magnesio.

### **Salinidad**

Algunos metales pueden ser más tóxicos fuera del rango normal de salinidad de las aguas. La concentración de sal puede influir en la absorción del metal. Los iones sodio disminuyen la bioacumulación de cationes metálicos.

### **Nutrientes**

La concentración de PO<sub>4</sub> influye directamente en la toxicidad de los metales para las algas. Concentraciones de PO<sub>4</sub> disminuyen el efecto de los metales o bien por precipitación con metales como Fe y Al en soluciones externas o bien por asociación con polifosfatos intracelulares.

## **1.1 ANTECEDENTES**

Se han realizado trabajos conjuntos entre instituciones oficiales sobre la contaminación por descargas de aguas residuales provenientes de la ciudad de Chetumal (Ortiz y Sáenz, 1995).

El primer caso de mortandad masiva de bagres en la Bahía de Chetumal, fue registrado por las autoridades y medios de comunicación a partir del 11 de Junio de 1996. Por ello la PROFEPA solicitó la colaboración del CETMAR, CNA, Ecología del municipio Othón P. Blanco, ECOSUR, SAGAR, SEDEMAR, SEMARNAP, SESA Y SIMAP con la participación de estas dependencias se estableció el Comité Técnico Científico para el estudio de la mortandad de bagres en la Bahía de Chetumal (Navarro, 1996).

---

También existen antecedentes de presencia de plaguicidas organoclorados en la Bahía, en los sedimentos del río Hondo y de su distribución en las zonas cercanas a la ciudad de Chetumal y a la desembocadura del río Hondo (Ortiz, *et al.*, 1997).

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-Ríos, 2001).

(Rojas *et al.*, 2002), 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.

El Colegio de la Frontera sur ha realizado desde 1993 diversos estudios enfocados al estudio de los niveles y distribución de plaguicidas organoclorados en sedimentos de la Bahía de Chetumal y río hondo, encontrándose diferentes plaguicidas (HCH's, Heptacloros, Drines, DDT's, Endosulfanes, etc.) en los sedimentos de la bahía en los periodos de 1993-1995 (Álvarez. L.M.T., 2002).

(Valero G. 2002). Reportó diferentes parámetros fisicoquímicos y 21 organoclorados, para evaluar la calidad del agua de la bahía de Chetumal, derivando que la presencia de sulfatos y carbonatos le daban la característica de cuerpo de agua salobre. También, se consideraron las concentraciones de los organoclorados significativas, encontrándose hidrocarburos clorados en dos sitios; en el río Hondo y frente a la ciudad de Chetumal (Bahía).

---

Herrera-Silveira, *et al*, evaluaron la calidad del agua de la bahía de Chetumal a través de indicadores de su estado trófico, en éste análisis se determinaron diferentes parámetros fisicoquímicos y de acuerdo a sus resultados se clasificaron las 4 zonas dependientes de la data arrojada, este análisis se efectuó utilizando análisis multivariado (Herrera-Silveira, *et al*, 2002).

---

## 1.2 Justificación

El 24 de octubre de 1996, la Bahía de Chetumal fue decretada por el Gobierno del Estado de Q. Roo como área natural protegida con la denominación de "Zona Sujeta a Protección Ecológica, Santuario del Manatí, Bahía de Chetumal". El manatí es una especie protegida internacionalmente y encuentra en la Bahía de Chetumal un hábitat favorable.

La ciudad de Chetumal esta provocando problemas de contaminación en su litoral, ya que no cuenta con un sistema adecuado de alcantarillado para canalizar sus aguas residuales de la ciudad a la Bahía (descarga por desechos orgánicos de 200 m<sup>3</sup> por día), se ve alterado por la presencia de ortofosfatos debido a la descarga antropogénica, estas descargas se vierten directamente sin tratamiento previo, ya que en la ciudad, no se cuenta con plantas de tratamiento de aguas negras, tampoco con relleno Sanitario en basurero municipal, y estos desechos tóxicos son vertidos a la bahía a través del drenaje pluvial y por filtración que pasa al subsuelo y posteriormente al manto freático con desembocadura en la bahía.

Otra costumbre es la canalización de desechos a la red pluvial que se distribuye a lo largo de la zona urbana y con desembocadura en un punto de la bahía. También se considera un sistema de contaminación los agregados agroquímicos que desechan 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 maneja desechos químicos tóxicos tales como restos de plaguicidas organocloradas, melazas, pesticidas etc., situados en nuestro país y en el país circunvecino de Belice C. A. estos desechos pasan al río Hondo, por filtración u otro mecanismo.

El problema es relevante debido a la atención de la salud humana, ya que la contaminación por descarga de aguas negras se encuentra en la parte limítrofe de la ciudad con la bahía y dentro de esta área acuífera, se encuentran proyectos

---

---

como el de la construcción de cinco balnearios de importancia para el ecoturismo en la ciudad y del propio estado, también este cuerpo de agua es utilizado para recreación social y para practicar la pesca local, de modo que no solo recibe descargas de desechos tóxicos de nuestra ciudad periférica a la bahía, sino que también al sureste de la Quintana Roo tenemos la ciudad de Corozal del país de Belice, que esta a solo 8 km de distancia entre ciudad Chetumal y ciudad Corozal, y que también tiene el problema con el tratamiento de sus aguas residuales y con el uso de drenaje o fosas sépticas, por lo que se considera como foco de contaminación para la Bahía.

Con este estudio se intenta proporcionar elementos fundamentales de utilidad para posteriores estudios, asimismo aportar conocimientos respecto a metales pesados en algas y agua en la bahía de Chetumal Quintana Roo

---

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general:**

Caracterizar cinco zonas puntuales de la Bahía de Chetumal, estudiando el contenido de los niveles de metales pesados presentes en las algas *Eteromorpha* y *Polysiphonia* de la bahía de Chetumal.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

1. Establecer los niveles de concentración total de los metales seleccionados (Ag, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Ba, Hg y As) en las algas de cinco zonas en la franja costera de la bahía Chetumal, empleando Espectrofotometría de Absorción Atómica y generador de hidruros.
2. Determinar los principales parámetros fisicoquímicos (Temperatura, MO, pH, Salinidad, conductividad, Oxígeno disuelto, Carbonato de Calcio, DBO y DQO) en agua y sedimento.

---

## 2.0 METODOLOGIA

Se estudiaron los contenidos de metales pesados Ag, Cd, Cr, Ni, Pb Zn, Al, Ba, Hg y As en las algas Eteromorpha y Polisiphonia, mediante la aplicación de las técnicas de espectroscopia de Absorción Atómica y Generación de Hidruros. Así como, la determinación de los parámetros fisicoquímicos en las aguas cercanas al hábitat de las mismas. (EPA, Method 7020)

### 2.1 Equipo

Para determinar el contenido de los metales pesados en las algas ya mencionadas se realizó análisis por Espectrometría de Absorción Atómica con Llama, para ello se uso un espectrómetro de doble rayo marca Varían, modelo Spectro AA 220, con llama aire/acetileno y oxido nitroso/acetileno y generador de hidruros VGA 77.

Para algunos parámetros Físico-químicos se utilizó una sonda multiparamétrica marca YSI Incorporated 6600, Multiparameter.

Para la determinación de los puntos se utilizó un GPS (Global Positioning System por sus siglas en ingles) proporcionado por el área de geografía de la Universidad de Quintana Roo.

Todos los reactivos que se utilizaron, fueron pesados en una balanza analítica Sartorius BL 120 S (0.1 mg); de igual modo se utilizó dicha balanza para el pesado de las muestras de las algas que se analizaron.

Para la aplicación del método de extracción, se utilizó un matraz balón de capacidad 250 mL con boca esmerilada y un condensador recto, con junta esmerilada, con una longitud de enfriamiento de al menos 200 mm.

---

La medición del oxígeno disuelto se efectuó con un oxímetro portátil HANNA modelo HI3142, este equipo previamente calibrado antes de cada muestreo.

El pH fue determinado con un pH-metro portátil modelo HANNA HI 9025C de lectura digital a la centésima, con un electrodo combinado de vidrio-calomelano.

## **2.2 Reactivo**

Los reactivos utilizados para el tratamiento de las muestras fueron:

Ácido nítrico J. T. Baker, al 69 – 70 % y  $d = 1.42 \text{ Kg/L}$ , Grado Instra.

Ácido Clorhídrico J. T. Baker, 36.5 – 38 %, Grado Instra.

Acido Sulfúrico J.T. Baker

Ácido acético glacial, J. T. Baker, 99.8%

Agua Tridestilada, Lote-Y24CO3.

Cloruro Estanoso, J.T. Baker.

Borohidruro de Sodio, J.T. Baker.

Patrones (estándares)  $1000 \pm 0.1 \text{ ppm}$  de cada elemento metálico. Marca Varian.

## **2.3 Diseño de Muestreo**

Se estableció el diseño de muestreo a lo largo del litoral de la bahía de Chetumal, donde existe un gradiente de contaminación, el criterio para la ubicación preliminar de la red de estaciones de muestreo se basó en la cercanía a las descargas de aguas residuales del área y a su zona de influencia, y a los objetivos de la presente investigación. El muestreo se realizó con una lancha con motor fuera de borda, propiedad de la Universidad de Quintana Roo con la cual se colectaron las muestras de algas y agua.

El diseño de muestreo partió de los siguientes puntos estratégicos donde son vertidas las aguas negras no tratadas provenientes de desagües, algunos

---

drenajes y desembocaduras de ríos y algunas zonas lagunares, para ello se seleccionaron 5 estaciones de muestreo, en la figura 1, se ubican geográficamente las estaciones de muestreo. En cada estación se colectó 3 réplicas de muestras de algas y agua.

Las algas se colectaron en 5 puntos de muestreo a lo largo de la zona costera los cuales se describen a continuación: 1.- Desembocadura del río Hondo, 2.- Punta Estrella, 3.- Dos Mulas, 4.- Universidad de Q. Roo y 5.- Balneario Calderitas.

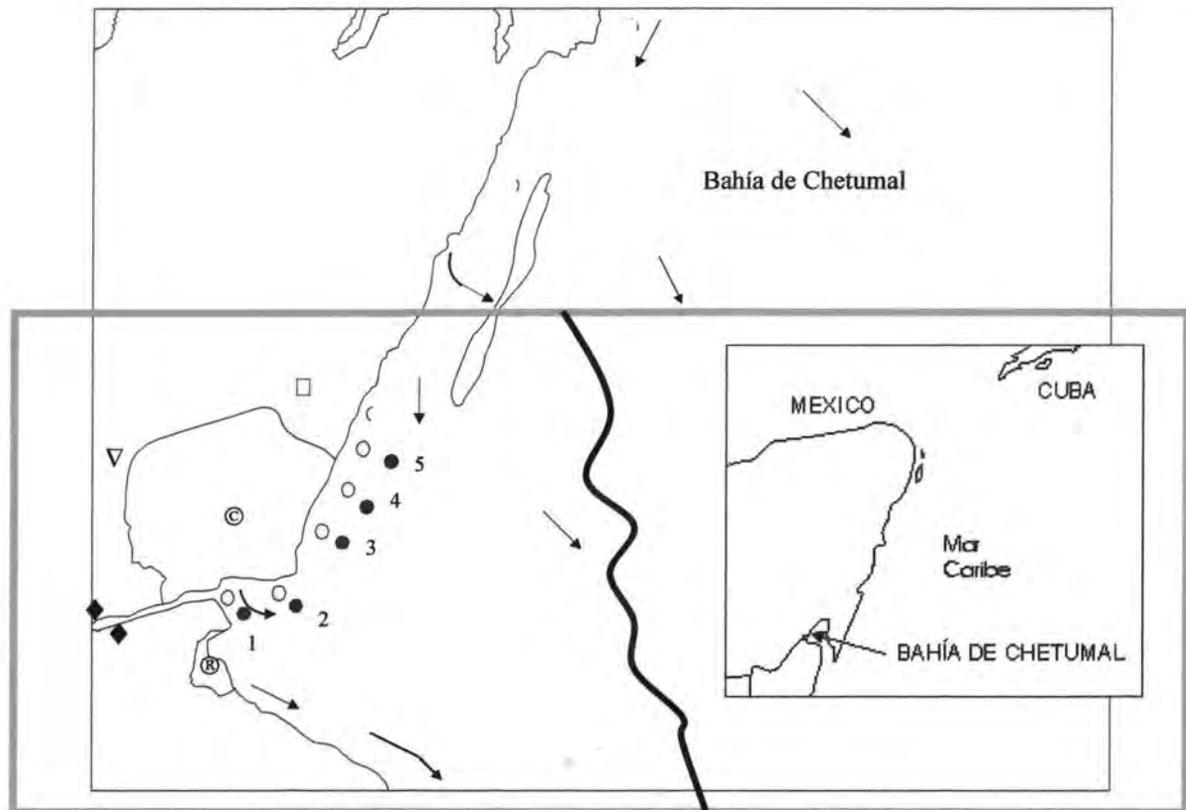
Las muestras de aguas, se recolectaron en frascos de polipropileno, siguiendo el criterio propuesto por Word y Mearns (1979), previamente lavados con Ácido nítrico diluido al 10%, los frascos fueron etiquetados y conservados adecuadamente.

Los muestreos realizados fueron para evaluar las condiciones ambientales de la bahía de Chetumal, durante las siguientes fechas:

- En el 2002 en temporada de seca. Se realizó el muestreo de agua y Algas.
- En el 2002 en temporada de lluvia. Se realizó el muestreo de agua y Algas.

### **2.3.1 Descripción del área de estudio**

La parte sur del estado de Quintana Roo se encuentra formada de rocas sedimentarias marinas de carbonato y anhidritas, cuyo origen corresponde al Mioceno y Plioceno, ambos periodos pertenecientes al Cenozoico; por lo que como resultado, existe un franco predominio de calizas, con relieve cársico característico.



1. Desembocadura del río Hondo
2. Punta Estrella
3. Dos Mulas
4. Universidad de Q. Roo
5. Bal. Calderitas

- Basurero municipal
- ▽ Laguna residual
- ◆ Ingenios azucareros
- ⊙ Ciudad de Chetumal, México
- Ⓜ Ciudad de Corozal, Belice
- Indican direcciones de las corrientes marinas.

Figura 1, Mapa de la bahía de Chetumal

---

La bahía de Chetumal, está situada en el extremo Sur del Estado de Quintana Roo, al Sureste de la península de Yucatán en México. También es una zona fronteriza que comparten México y Belice. Frente a la ciudad del mismo nombre, tiene conexión con el Río Hondo el cual sirve como límite fronterizo con el país de Belice, Centro América, y comunica con el mar Caribe, pasando a través de varios cayos; Esta limitada por los paralelos 18° 21" y 18° 52" N y los meridianos 87° 54" y 88° 23" de longitud Oeste (Fig.1).

La bahía de Chetumal es un cuerpo de agua salobre, debido a la influencia de agua dulce del río Hondo y agua salada del Mar Caribe, por su baja profundidad generalmente las corrientes son generadas por los vientos, en cuanto a las mareas son de baja amplitud (50 a 60 cm), las mareas que se presentan en el mar Caribe no influyen directamente con las mareas dentro de la bahía.

La profundidad promedio del sector noroeste es de 4.5 m y el sector sureste es muy irregular y presenta múltiples zonas de bajos. Tiene una extensión de 67 km de longitud y la anchura de 29 km abarcando una superficie de 1098 km<sup>2</sup>, y una orientada al SE que se abre hacia el mar Caribe. Dentro de la Bahía, se encuentra el área de estudio, localizada en el litoral de la zona urbana de Chetumal, tiene 5 Km de longitud y 50 m de anchura, posee características de un estuario porque tiene aportes de agua dulce proveniente del río Hondo, laguna Guerrero, además de pequeños manantiales y de la intrusión de agua de mar proveniente del mar Caribe

Se considera a la bahía de Chetumal como un sistema lagunar estuarino semicerrado con influencia marina limitada a la zona sureste, hiposalino por presentar salinidad promedio no mayor a 14 ppm, somero, con profundidad media de 3.2 m y máxima de 7 m y con temperaturas de 25 a 32 ° C (Gasca y Castellanos, 1993).

---

Los litorales de la Bahía son muy irregulares, carecen de playas hasta ahora y están rodeados de manglares de las especies *Rhizophora mangle* y *Conocarpus erectus*.

Por lo somero y la acumulación de sedimentos principalmente entre Cayo Cabezo, Cayo Negro y Cayo Cangrejo en un área de 259 km<sup>2</sup>, resta fuerza a las corrientes de entrada provenientes del mar Caribe. Los sedimentos en la mayor parte de la Bahía son limos excepto en el margen costero donde predominan el material terrígeno con un 90% de carbonato de calcio (Wantland, 1969).

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 3m/s durante todo el año, por lo que la renovación y circulación de las aguas y sus nutrientes se consideran lentas (Chavira et al, 1992).

Los usos principales de la Bahía son; la recreación y explotación de pesquerías de escamas a pequeña escala para autoconsumo y abasto local. Forma parte de la región más importante en el Caribe en la distribución del Manatí (*Trichechus manatus*) principalmente en la costa noreste (Morales y Olivera).

Para la clasificación de la bahía, se tienen nueve unidades morfotectónicas continentales para las costas mexicanas, según la clasificación tectónica. En la unidad IV, que comprende el borde de la Península de Yucatán desde las cercanías de la Isla Aguada, Campeche, hasta la Bahía de Chetumal en Quintana Roo; su longitud comprendida es de 1,100 km. Esto esta comprendido en la plataforma yucateca y en la clasificación fisiográfica propuesta por Álvarez, la plataforma emerge desde él (INEGI, 1987). Se sitúa en la unidad morfotectónica IV de Carranza- Edwards et al (1975) formada de sedimentos carbonatados y topografía cárstica. Lankford (1977) la ubica en el tipo IV-A por ser un sistema de tipo con barrera rígida de carbonatos (cayo Ambergris) con escurrimientos y aportes de agua dulce. Los principales aportes de agua provienen de los ríos

---

Hondo, Kik y Nuevo, de las lagunas como Guerrero y Shipstern, de los ríos subterráneos (Wantland, 1969) y de agua marina del Mar Caribe.

El clima de la región es de tipo AW (X') y AW2 (W'), que corresponde a cálido sub húmedo con lluvias en verano, según la clasificación climática de Koppen modificada por García (1981); la temperatura media anual oscila entre 25 y 27° C con una variación térmica menor 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.

Hay otros sitios que ameritan cierta protección. El río Hondo y el litoral de la Bahía de Chetumal, son muy importantes para las especies de manatíes, ya que incluye la mayor población en todo el sureste del país. Actualmente la Bahía, es área natural protegida, por ser santuario del manatí y refugio de los Delfines, además de que la ciudad de Chetumal, es cabecera para el desarrollo ecoturístico de la región sur y del proyecto costa Maya en el estado de Quintana Roo.

El río Hondo, 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, sirve como límite fronterizo entre México y el vecino país de Belice, es navegable desde el lugar llamado Lagunitas hasta su desembocadura en la Bahía, la vegetación en sus márgenes está compuesta de Manglar de las especies *Rizophora mangle* y *Conocarpus erectus* principalmente, además de comunidades vegetales de tasistal y selva mediana generalmente. 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, contribuyen los tributarios más importantes al cauce del río Hondo, el arroyo Chac desemboca en la Bahía.

---

---

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

## **2.4 Preparación de las algas**

Las muestras de Algas fueron colocadas en frascos de polipropileno con formol al 2 % para mantenerlas hidratadas y se transportaron en una nevera con hielo para mantener la temperatura optima para su análisis y clasificación taxonómica. Seguidamente, estas fueron deshidratadas a 60°C ya que se trabajaron en peso. Se secaron en cajas de petri debidamente lavadas con ácido sulfúrico al 1N para eliminar cualquier contaminante en ellas, se seleccionaron pesadas de 1 gramo y fueron colocadas en matraces de Erlenmeyer de 125 ml para su digestión posterior.

### **2.4.1 Digestión de las algas**

Se tomó 10 ml de agua destilada, 1 ml de ácido clorhídrico, 1 ml de ácido sulfúrico y se colocaron en una camiseta de calentamiento a una temperatura hasta ebullición, al empezar la ebullición por cada hora se le añadió 1 ml de los ácidos ya mencionados hasta desintegración de las Algas. Los residuos que resultaron de la digestión fueron filtrados para eliminar los restos de la materia orgánica (EPA, Method 7020)

Para el análisis de los contenidos metálicos se seleccionaron v Ag, Cd, Cr, Ni, Pb Zn, Al, Ba, Hg y As por ser los 10 más encontrados contenidos más elevados de los que se conoce su mayor bioacumulación (Martínez, C. y col., 1992).

---

## **2.5 Determinaciones analíticas "in situ"**

En este trabajo se determinaron simultáneamente el muestreo de agua y Algas en las muestras de agua se hicieron los parámetros físico-químicos: temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad (Bagrat, 1965), (González, 1989). La contaminación de las aguas costeras de la bahía de Chetumal fueron evaluadas a través de los cambios que experimentan la temperatura, pH, la Conductividad, el oxígeno disuelto y los metales pesados, estos evaluados a nivel epilimnion en la columna de agua (Bagrat, 1965; Martínez, C.L. 1998).

### **2.5.1 Temperatura**

La temperatura de las aguas es un parámetro importante, cualquier cambio puede acelerar las reacciones químicas, reducir la solubilidad de los gases, intensificar el olor y sabor del agua. También, la temperatura del agua está en función de la época del año, el caudal, la situación de la zona de muestreo, la hora del día de su determinación, la profundidad del medio y la calidad del agua.

### **2.5.2 Conductividad**

La conductividad del agua nos da una estimación acerca de la concentración aproximada de las sales minerales presentes. Es muy importante conocer el tipo de agua estudiada, especialmente si esas aguas están destinadas para la producción de agua potable. 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).

---

### **2.5.3 Oxígeno Disuelto**

Este parámetro es muy importante en el control de la calidad del agua, las aguas superficiales limpias normalmente están saturadas de oxígeno disuelto, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos pueden consumirlo rápidamente.

### **2.5.4 pH**

El pH es parámetro muy importante en la biodisposición de los metales, debido a que cualquier cambio en su escala ácido-base puede provocar una liberación o quelación de los metales.

### **2.5.5 Salinidad**

Este término se define como la concentración total de los iones disueltos por kilogramo de agua, sin ser específico para cloruro de sodio. Existe una preponderancia distintiva entre los aniones como el sodio, potasio, calcio y magnesio, y los cationes como los cloruros, sulfatos y carbonatos, entre otros, para aguas de diferente origen (Martínez, 1998). (Hunt, 1998), propone una concentración de salinidad para diferentes tipos de agua, para nuestra área de estudio pertenece al de aguas estuarinas y lagunares por contener este rango de salinidad 300-29,999 mg/L.

## **2.6 Tratamiento estadístico de los datos**

Las muestras de agua y algas, se les realizó un tratamiento estadístico con el programa XLSTAT-Pro versión 7.5.3 1995-2005 Addinsoft y se analizaron los parámetros siguientes: Análisis de Varianza, correlaciones lineales, Análisis de Componentes Principales (ACP) y Cluster.

---

### 2.6.1 Análisis de correlación

El análisis de correlación (correlación lineal de Pearson) se ha efectuado en los sedientos y organismos de la bahía, mediante el programa XLSTAT-Pro versión 7.5.3 con el objetivo de establecer las correlaciones que se existen entre los metales pesados y algunos parámetros físico-químicos.

### 2.6.2 Análisis de componentes principales

El Análisis de Componentes Principales (ACP), utilizando el programa XLSTAT-Pro versión 7.5.3, permite reducir las **M** variables consideradas (8 metales pesados) de un conjunto de **N** observaciones, a un número inferior de nuevas variables, las cuales soportan la mayor parte de la varianza. A estas nuevas variables se les denomina Componentes Principales y de ellas se extrae la mayor parte de la información contenida en las **N** observaciones. (Polo, 2000).

El análisis de Componentes Principales busca también unas pocas combinaciones lineales de las variables observadas, perdiendo la menor cantidad de información posible, es decir explican las diferencias entre las muestras, casi con la misma efectividad que toda la base de datos.

El proceso de cálculo conduce a que cada una de las **M** variables ( $X_i$ ) puede expresarse en función de los componentes principales obtenidos (CP1, CP2, CP3....., CPn) en la forma siguiente:

$$X_i = a_i CP1 + b_i CP2 + c_i CP3 + \dots + n_i CPn$$

Donde:

$a_i, b_i, c_i, \dots, n_i$  = factores de carga

---

## 3.0 RESULTADOS Y DISCUSION

### 3.1 Algas

#### 3.1.1 Metales pesados

Los iones metálicos una vez incorporado en el sistema acuático se puede encontrar libre o formando complejos, ya sea con ligandos inorgánicos como  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CN}^-$ , etc., como orgánicos EDTA, ácido cítrico, oxálico, húmicos, fúlvico, etc. Asimismo el ión metálico se puede incorporar en la fase sólida (sedimentos y materia en suspensión) (Buffle y col., 1984; Buffle, 1988; Perdue, 1988).

Los resultados de los metales pesados analizados en las Algas se presentan en las Tablas 1 y 2 en las temporadas de seca y lluvia del 2002, respectivamente. Generalmente, las concentraciones de los metales estudiados en las Algas Verdes presentan concentraciones más elevadas en el punto de muestreo 1 (desembocadura del río Hondo) que en los demás puntos, seguidamente podemos observar que las concentraciones medias siguientes se localizan en el punto de muestreo 3 (Dos mulas) a excepción del Cd, en la temporada de seca. Para el caso de la temporada de lluvia, las Algas verdes presentan mayores concentraciones de metales en el punto 4 y 2 (Muelle de la UQROO y punta Estrella) en decreciente concentración respectivamente.

En particular, el Al contiene las concentraciones más elevadas de todo el estudio, tanto en temporada de seca como de lluvia, observándose que las concentraciones más bajas se detectaron en los puntos de muestreo 4 (892.89  $\mu\text{g/g}$ ) y 3 (1.23  $\mu\text{g/g}$ ), en temporada de seca y temporada de lluvia, respectivamente. Las concentraciones de del Al en temporada de seca oscilan entre 892.89  $\mu\text{g/g}$  y 3180.16  $\mu\text{g/g}$ , y en temporada de lluvia oscila entre 0.00  $\mu\text{g/g}$  y 4990.72  $\mu\text{g/g}$ .

Para el caso del Hg, las concentraciones mas elevadas se encontraron en el punto de muestreo 1 en ambas estaciones, no obstante, las concentraciones de Hg en temporada de seca oscilan entre 9.99  $\mu\text{g/g}$  y 136.39  $\mu\text{g/g}$ , y en la temporada de lluvia oscilan las concentraciones de Hg entre 0.00 – 81.23  $\mu\text{g/g}$ . Lo que señala que existe un gradiente de concentración muy elevado de este elemento en todos los puntos de muestreo a excepción del punto 3 (Dos mulas).

El Zn presenta niveles máximos de concentración en el punto de muestreo 1 (78.18  $\mu\text{g/g}$ ) en la temporada de seca y en la temporada de lluvia el punto de muestreo 4 (Muelle de la UQROO) presenta la concentración de 66.58  $\mu\text{g/g}$ . En general, los valores de éste metal se incrementan gradualmente conforme disminuyen los puntos de muestreo del 1 al 5. Las concentraciones de Zn pueden deberse a las aguas residuales domésticas y a las deyecciones de animales (granjas) que vierten directamente al río sin saneamiento. No obstante una parte de la concentración de zinc puede ser de origen litogénico (Manahan, S., 1994; Cervantes, C., 1999).

Tabla 1, Concentraciones medias de metales pesados en Algas, seca 2002 ( $\mu\text{g/g}$ ).

Algas Verdes										
	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	Ba	Hg	As
D. río Hondo	11.16	5.68	20.46	34.27	75.39	78.18	2453.74	281.01	136.39	0.00
Punta estrella	1.87	3.05	7.38	23.32	16.73	35.73	3180.16	137.75	32.67	0.19
Dos mulas	2.14	4.37	5.44	33.61	35.94	28.97	1470.62	0.00	30.01	0.00
Muelle UQROO	1.39	1.29	3.76	21.28	30.69	37.19	892.89	0.00	30.01	0.00
Calderas	2.18	5.15	3.27	28.70	31.66	28.25	1052.84	0.00	9.99	0.00

Algas Cafés										
	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	Ba	Hg	As
D. río Hondo	1.53	2.57	4.90	16.72	22.50	26.84	1552.81	69.12	18.41	0.00
Punta estrella	2.36	4.62	5.30	24.25	34.37	34.12	2913.39	47.13	46.74	0.00
Dos mulas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Muelle UQROO	3.61	4.69	18.06	25.29	53.95	65.55	4990.72	20.51	81.34	0.00
Calderas	0.89	4.85	2.47	21.38	27.72	28.22	1476.94	0.00	19.80	0.00

Generalmente, las concentraciones de Pb que se presentan en ambas temporadas fueron considerablemente superiores a las reportadas por Lieven Bervots, en 1999 (Lieven Verbotes et al., 1999) a excepción del punto de muestreo 3 (Dos mulas).

Para el Ag podemos observar que en todos los puntos de muestreo y muestreos, los niveles de concentración están ligeramente elevados en ambas género de Algas, a excepción del punto de muestreo 1 (11.16  $\mu\text{g/g}$ ) que si presenta una concentración más elevada.

Lo mismo sucede para el Cr, las concentraciones encontradas se consideran ligeramente elevadas en ambas especies de Algas, a excepción del punto de muestreo 1 (20.46  $\mu\text{g/g}$ ) que presenta un nivel de concentración mayor que en los demás puntos de muestreo.

Tabla 2, Concentraciones medias de metales pesados en Algas, lluvia 2002 ( $\mu\text{g/g}$ ).

Algas Verdes										
	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	zn	Al	Ba	Hg	As
D. río Hondo	1.59	2.78	4.98	19.72	22.53	25.87	1653.12	69.13	19.42	0.00
Punta estrella	2.40	4.57	5.69	24.35	34.00	35.12	2914.36	47.16	49.75	0.00
Dos mulas	1.23	0.89	0.92	0.23	1.32	0.00	1.23	0.00	0.00	0.00
Muelle UQROO	3.72	4.69	18.10	25.53	52.96	66.58	4991.41	21.52	81.23	0.00
Calderas	0.99	4.90	2.50	21.36	28.74	29.23	1473.58	1.00	19.85	0.00

Algas Cafés										
	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	zn	Al	Ba	Hg	As
D. río Hondo	2.56	2.59	4.88	19.25	22.25	26.23	1754.23	69.25	19.56	0.00
Punta estrella	2.90	4.53	5.23	26.23	36.00	38.19	2918.23	47.23	49.98	0.00
Dos mulas	0.00	0.98	1.60	0.00	1.42	0.00	1.20	1.60	0.00	0.00
Muelle UQROO	4.52	4.23	19.01	26.23	56.93	66.59	4991.29	23.24	82.56	0.00
Calderas	0.96	5.00	2.90	22.32	26.56	29.28	1459.25	1.02	19.56	0.00

Para el caso del As y Ba, estos elementos presentan la misma tendencia y frecuencia de concentraciones en ambos muestreos y género de Algas.

Observándose, que en los puntos de muestreo 1 y 2 es donde se concentran más estos elementos en las especies de Algas estudiadas.

El Ni arrojó una concentración muy semejante en todos los puntos de muestreo, tanto en época de lluvia como en seca y en ambas género de Algas marinas.

Para las especies de Algas cafés, podemos decir que las concentraciones de los metales analizadas 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 (Cervantes, C y Moreno, R, 1999).

### 3.1.2 Análisis de correlación

Se realizaron los análisis de correlación lineal de Pearson en las Algas de la bahía, para establecer los grupos de asociación existentes entre las variables analizadas.

Tabla 3, Matriz de correlación de Pearson en Algas verdes, seca 2002.

Variables	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	Ba	Hg	As
Ag	<b>1.00</b>									
Cd	0.62	<b>1.00</b>								
Cr	<b>0.97</b>	0.53	<b>1.00</b>							
Ni	0.62	<b>0.87</b>	0.55	<b>1.00</b>						
Pb	<b>0.95</b>	0.61	<b>0.87</b>	0.71	<b>1.00</b>					
Zn	<b>0.97</b>	0.40	<b>0.97</b>	0.42	<b>0.89</b>	<b>1.00</b>				
Al	0.38	0.18	0.56	0.06	0.08	0.42	<b>1.00</b>			
Ba	<b>0.88</b>	0.43	<b>0.95</b>	0.35	0.68	<b>0.91</b>	0.75	<b>1.00</b>		
Hg	<b>0.97</b>	0.45	<b>0.99</b>	0.52	<b>0.91</b>	<b>0.99</b>	0.44	<b>0.90</b>	<b>1.00</b>	
As	-0.25	-0.27	-0.05	-0.47	-0.54	-0.16	0.78	0.24	-0.17	<b>1.00</b>

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

Los resultados de las correlaciones de Algas verdes en la temporada de seca, se presentan en la Tabla 3, nos arroja las siguientes asociaciones más significativas entre metales: Ag-Cr, Pb, Zn, Ba, Hg; Cd-Ni; Cr-Pb, Zn, Ba, Hg; Pb-Zn, Hg; Zn-Ba,

Hg y Ba-Hg con Cd, Cr, Zn y Cu, y la de Cr y Cu, esta variación de las correlaciones observadas hace pensar en una contaminación de origen antropogénico en la zona estudiada.

En la Tabla 4 se muestra las correlaciones correspondientes a las Algas cafés en la temporada de seca, y podemos señalar las asociaciones más importantes: Ag-Cr, Ni, Pb, Zn, Al, Hg; Cd-Ni, Zn; Cr-Pb, Zn, Al, Hg; Ni-Zn, Al, Hg; Pb-Zn, Al, Hg; Zn-Al, Hg y Al-Hg, se puede observar que los coeficientes de correlación descritos señalan que los metales Al y Hg son los que mejor correlacionan ( $r = 1$ ).

Tabla 4, Matriz de correlación de Pearson en Algas cafés, seca 2002.

Variables	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	Ba	Hg	As
Ag	<b>1.00</b>									
Cd	0.69	<b>1.00</b>								
Cr	<b>0.93</b>	0.53	<b>1.00</b>							
Ni	<b>0.80</b>	<b>0.97</b>	0.63	<b>1.00</b>						
Pb	<b>0.78</b>	0.36	<b>0.95</b>	0.42	<b>1.00</b>					
Zn	<b>0.96</b>	<b>0.78</b>	<b>0.94</b>	<b>0.85</b>	<b>0.83</b>	<b>1.00</b>				
Al	<b>0.99</b>	0.73	<b>0.95</b>	<b>0.81</b>	<b>0.84</b>	<b>0.98</b>	<b>1.00</b>			
Ba	0.37	0.13	0.14	0.33	-0.12	0.20	0.21	<b>1.00</b>		
Hg	<b>0.98</b>	0.70	<b>0.94</b>	<b>0.77</b>	<b>0.85</b>	<b>0.96</b>	<b>1.00</b>	0.16	<b>1.00</b>	
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.00</b>

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

En la Tabla 5, podemos recoger las correlaciones de las Algas verdes en la temporada de lluvia: Ag-Cr, Pb, Zn, Al, Hg; Cd-Ni, Zn; Cr-Pb, Zn, Al, Hg; Ni-Zn, Al; Pb-Zn, Al, Hg; Zn-Al, Hg y Al-Hg, en estas correlaciones las mejores asociaciones fueron las de Zn-Al y Al-Hg, podría deberse a que estas correlaciones de metales sean muy fácil de disociarse (biodisponible) y así pasar a la columna de agua por un simple cambio ambiental o a otro organismo/ser humano por la ingesta de la planta y/o a la cadena trópica.

Tabla 5, Matriz de correlación de Pearson en Algas verdes, lluvia 2002.

Variables	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	Ba	Hg	As
Ag	<b>1.00</b>									
Cd	0.44	<b>1.00</b>								
Cr	<b>0.95</b>	0.49	<b>1.00</b>							
Ni	0.55	<b>0.92</b>	0.59	<b>1.00</b>						
Pb	<b>0.88</b>	0.37	<b>0.96</b>	0.40	<b>1.00</b>					
Zn	<b>0.86</b>	<b>0.79</b>	<b>0.92</b>	<b>0.84</b>	<b>0.83</b>	<b>1.00</b>				
Al	<b>0.94</b>	0.72	<b>0.94</b>	<b>0.79</b>	<b>0.84</b>	<b>0.98</b>	<b>1.00</b>			
Ba	0.21	0.09	0.14	0.44	-0.11	0.19	0.24	<b>1.00</b>		
Hg	<b>0.95</b>	0.70	<b>0.93</b>	0.75	<b>0.83</b>	<b>0.96</b>	<b>0.99</b>	0.19	<b>1.00</b>	
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.00</b>

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

La Tabla 6 nos presenta las correlaciones de las Algas cafés en la temporada de lluvia 2002, las correlaciones más significativas son las siguientes: Ag-Cr, Ni, Zn, Al, Hg; Cd-Ni; Cr-Pb, Zn, Al, Hg; Ni-Zn, Al; Pb-Zn, Al, Hg; Zn-Al, Hg y Al Hg, podemos observar que las correlaciones fueron muy semejantes en los 4 casos de asociaciones en ambos géneros de Algas, lo que significa que podemos estudiar cualquier género de Alga de este ecosistema estuarino (verde o café) y podremos obtener el grado de concentración bioacumulado de metales pesados.

Tabla 6, Matriz de correlación de Pearson en Algas cafés, seca 2002.

Variables	Ag	Cd	Cr	Ni	Pb	Zn	Al	Ba	Hg	As
Ag	<b>1.00</b>									
Cd	0.49	<b>1.00</b>								
Cr	<b>0.87</b>	0.35	<b>1.00</b>							
Ni	<b>0.78</b>	<b>0.90</b>	0.53	<b>1.00</b>						
Pb	0.74	0.26	<b>0.98</b>	0.38	<b>1.00</b>					
Zn	<b>0.93</b>	0.71	<b>0.89</b>	<b>0.85</b>	<b>0.81</b>	<b>1.00</b>				
Al	<b>0.96</b>	0.62	<b>0.92</b>	<b>0.79</b>	<b>0.83</b>	<b>0.98</b>	<b>1.00</b>			
Ba	0.52	0.03	0.09	0.41	-0.10	0.22	0.27	<b>1.00</b>		
Hg	<b>0.93</b>	0.60	<b>0.91</b>	0.75	<b>0.84</b>	<b>0.96</b>	<b>0.99</b>	0.20	<b>1.00</b>	
As	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>1.00</b>

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

### 3.1.3 Análisis de componentes principales

Los resultados obtenidos del análisis de componentes principales (ACP) para las Algas verdes se representan en las Figuras 2 y 3. En la Figura 2, se puede

observar que se explica el 88.67 % de la varianza total a través de dos componentes principales:

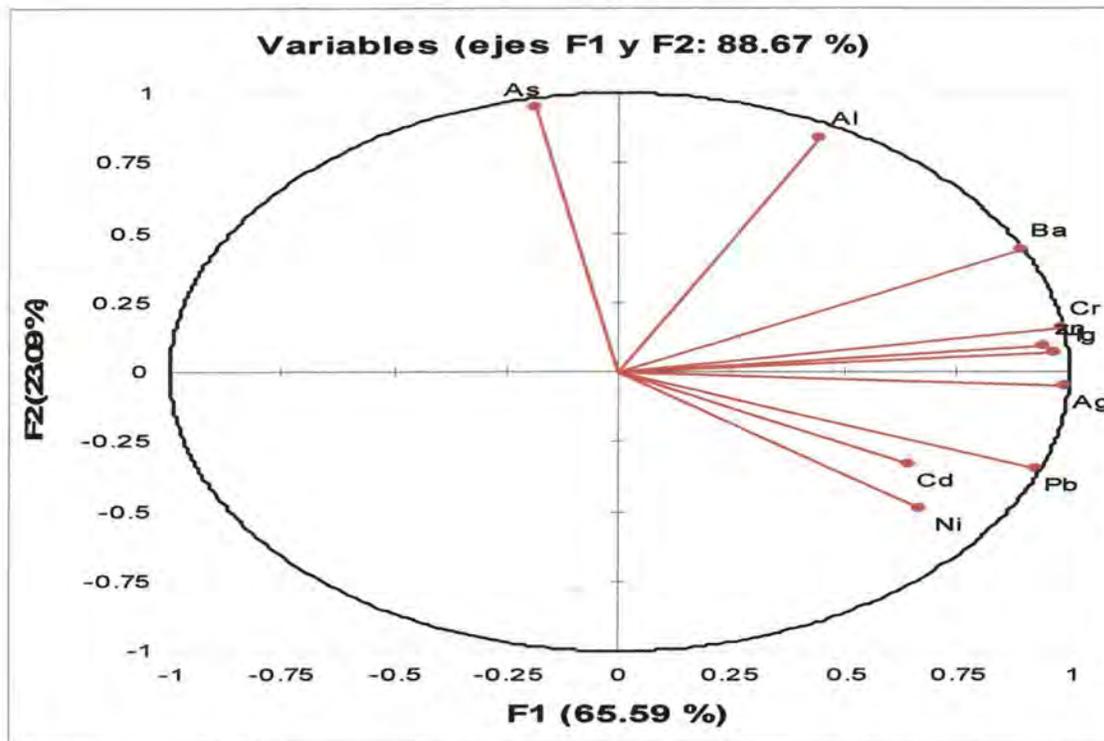


Figura 2, Análisis de Componentes Principales en Algas verdes 1 de la bahía, seca 2002.

El primer componente principal (CP-I) en temporada de seca, está definido por 9 metales Al, Ba, Cr, Hg, Zn, Ag, Pb, Cd y Ni, el cual explica el 65.59 % de la varianza total. El segundo componente principal (CP-II) está definido por el As y explica el 23.09 % de la varianza. Los vectores de estos parámetros se desplazan en otra dirección respecto a los que definen al primer componente. Según (Tsai, y col., 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 (Desembocadura del río Hondo) presenta las concentraciones más elevadas de todos los metales, podría deberse al arrastre de contaminantes del río Hondo a la bahía de Chetumal, ya que el río arrastra aguas residuales y residuos agroquímicos provenientes de los ingenios de México y Belice (Morales, B. y Olivera, L. D., 1994.).

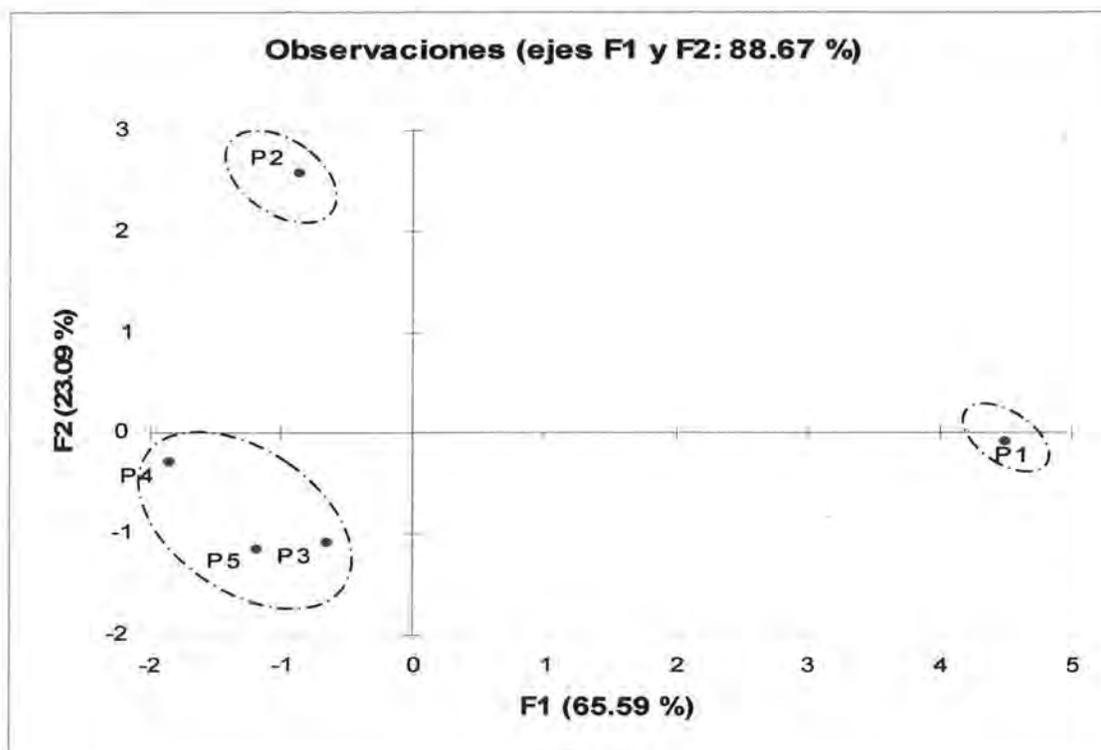


Figura 3, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, seca 2002.

Con el análisis factorial de los componentes principales también se ha evaluado la relación que guardan los puntos de muestreo en la bahía con respecto a los dos componentes principales. A partir de este estudio los puntos de muestreo se pueden clasificar en tres grupos.

1. Esta constituido por los sedimentos del punto 1, las muestras de ésta zona, presentan concentraciones máximas de los metales pesados estudiados.
2. El segundo grupo está formado por los sedimentos del punto de muestreo 2 (Punta Estrella). Las muestras de esta zona, no detectan concentración a excepción del punto de muestreo 2.
3. El tercer grupo está formado por los puntos de muestreo 3, 4 y 5 (Dos mulas, Muelle de la UQROO y Calderas). En las muestras de estas zonas, las

4. concentraciones de los metales pesados son menores, pero si presentan concentraciones significativas.

En la Figura 4, se muestran los resultados para las Algas cafés en temporada de seca; como se puede observar el comportamiento observado varió ligeramente al descrito anteriormente, con respecto a las algas verdes.

En este análisis se muestran los resultados del ACP para las Algas cafés en la temporada de seca. En este caso el por ciento de la varianza total explicado por los dos componentes principales es del 89.91 %, el primer componente principal (CP-I) fue de 75.82 % y el segundo componente (CP-II) es igual al 14.09 %. El grupo de metales formado por el componente principal I es muy semejante al anterior para las Algas verdes. Sin embargo, las concentraciones encontradas en este análisis son menores.

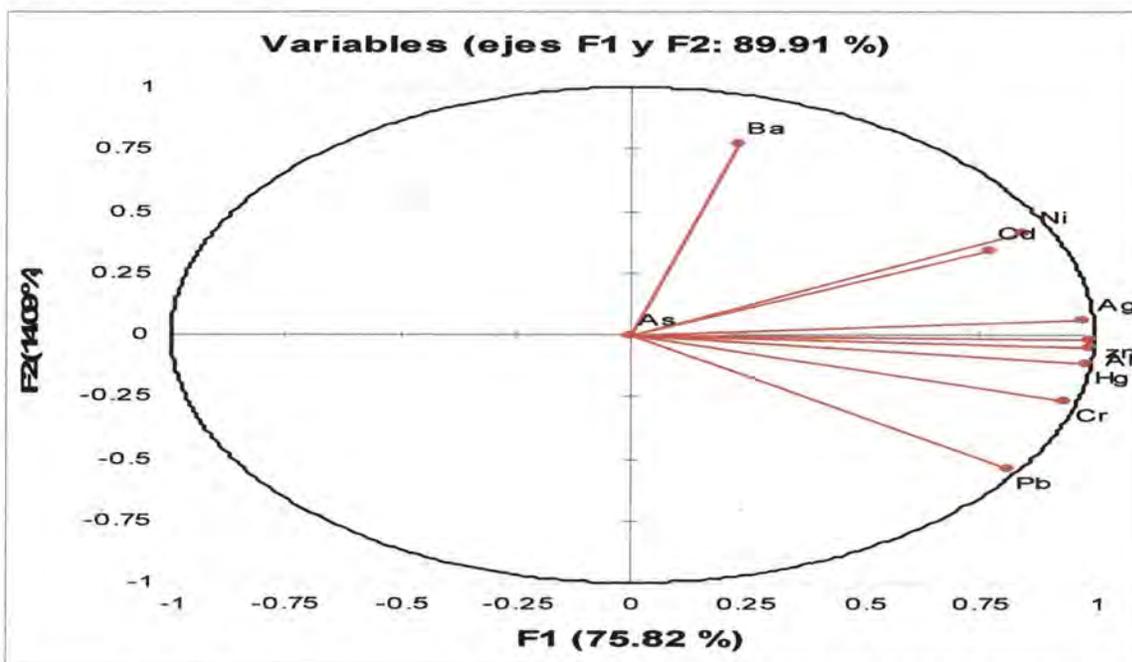


Figura 4, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, seca 2002.

En la Figura 5, se presenta el mapa de posición de los puntos de muestreo, con respecto al par de componentes principales CP-I – CP-II. Este mapa nos permite clasificar las muestras en tres grupos.

1. El primer grupo está constituido por los puntos de muestreo 2 y 4. Las muestras de ésta zona, representan las concentraciones mas elevadas y frecuentes de los metales.
2. El segundo grupo está formado por los puntos de muestreo 1 y 5. Las muestras de esta zona, por lo general, presentan concentraciones mas bajas que el grupo 1.
3. El tercer grupo está formado por el punto de muestreo 3. Las muestras de ésta zona, no presentan concentraciones o se encontraron por debajo de los limites de detección del equipo.

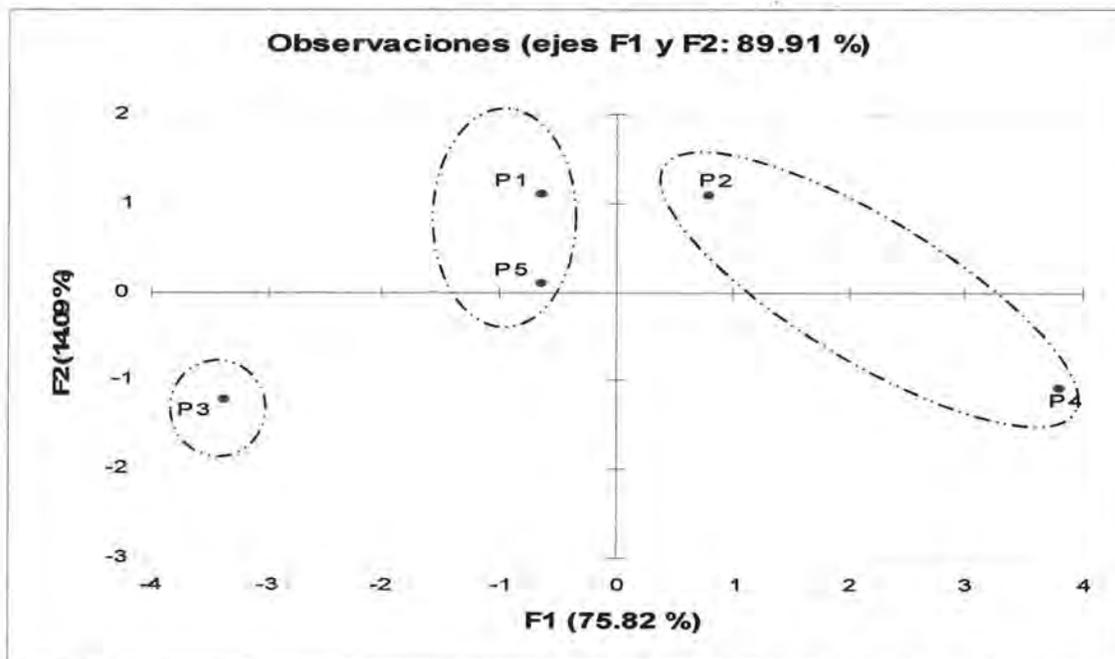


Figura 5, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, seca 2002.

En las Figura 6 y 8, se muestran los resultados para las Algas verdes y cafés en temporada de lluvia, se puede observar el comportamiento es muy semejante al descrito anterior, para las algas cafés en la temporada de seca.

Los resultados para los ACP's, tienen una varianza total muy semejante que varia entre 87.80 % y 89.91 % para sus dos componentes principales y para el primer componente principal varia entre 70 y 75 %, para el segundo componente principal varia entre 14 y 16 %. El grupo de metales formado por el componente principal I contiene todos los metales y el segundo grupo de componentes, no contienen ningún metal pesado.

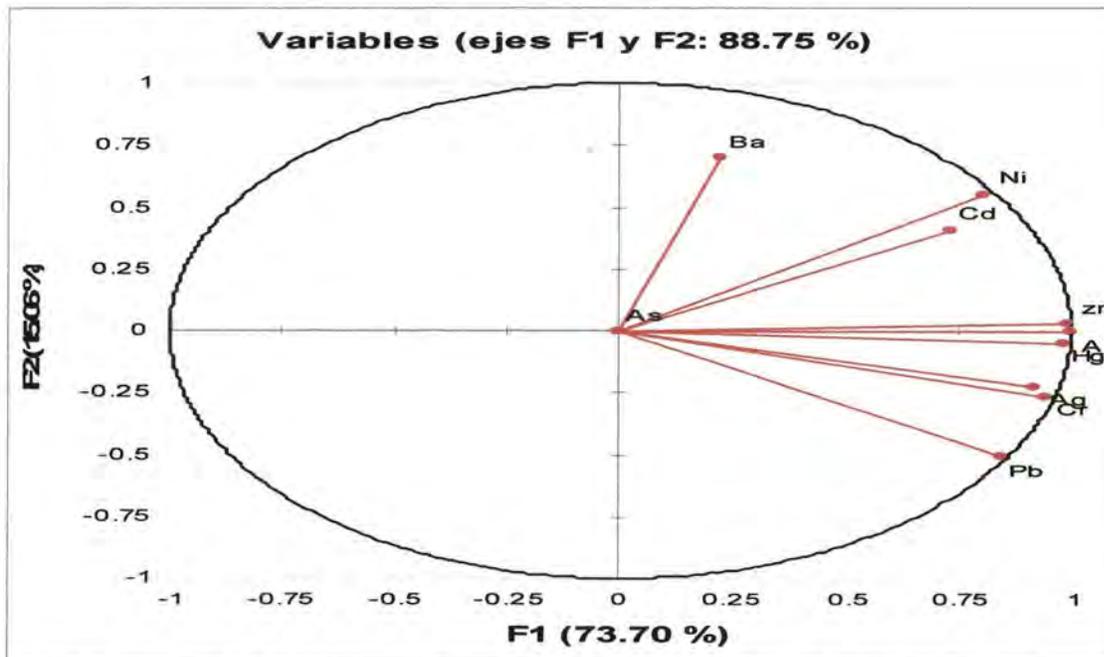


Figura 6, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, lluvia 2002.

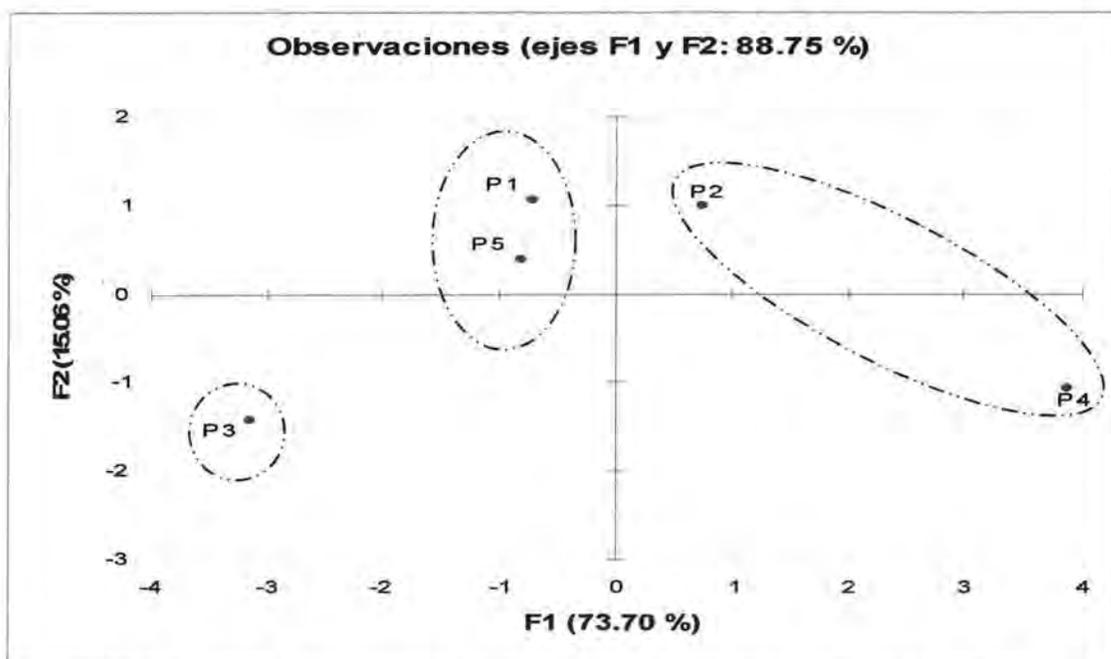


Figura 7, Análisis de Componentes Principales en Algas Verdes 1 de la bahía, lluvia 2002.

En las Figuras 7 y 9, se presenta el mapa de posición de los puntos de muestreo, con respecto al par de componentes principales CP-I – CP-II. Este mapa nos permite clasificar las muestras en tres grupos, en ambas figuras se observa la misma distribución de los contaminantes que en la Figura 5, alrededor de los puntos de muestreo.

1. El primer grupo está constituido por los puntos de muestreo 2 y 4. Las muestras de ésta zona, representan las concentraciones mas elevadas y frecuentes de los metales.
2. El segundo grupo está formado por los puntos de muestreo 1 y 5. Las muestras de esta zona, representan las concentraciones mas bajas del análisis de las Algas.
3. El tercer grupo está formado por el punto de muestreo 3. Las muestras de ésta zona, no presentan concentraciones o se encontraron por debajo de los limites de detección del equipo.

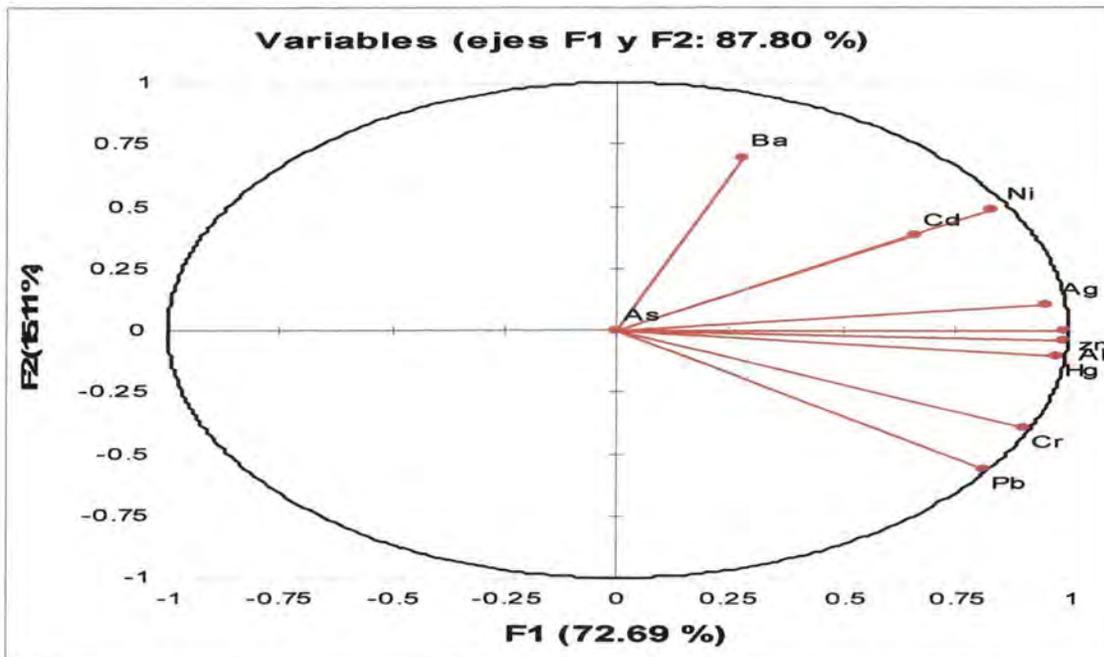


Figura 8, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, lluvia 2002.

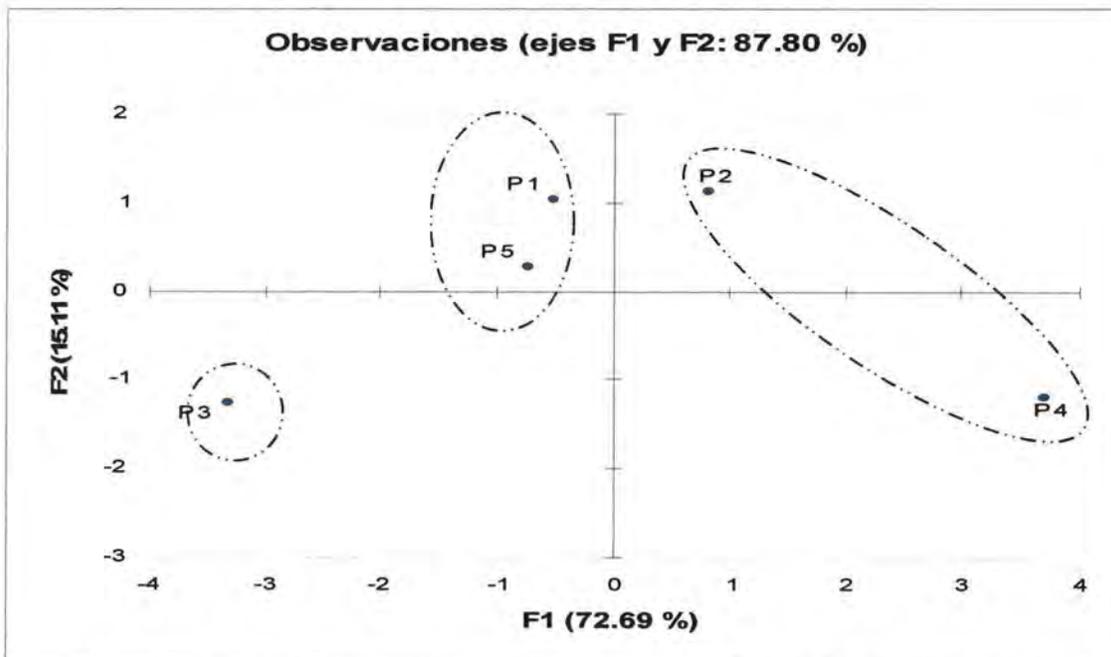


Figura 9, Análisis de Componentes Principales en Algas Cafés 2 de la bahía, lluvia 2002.

### 3.2 Parámetros fisicoquímicos (Determinaciones analíticas "in situ")

En las Tablas 7 y 8, y Figuras 10 y 11, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos de la columna de agua cercana a las Algas estudiadas en ambas temporadas climáticas en el año 2002.

Tabla 7, Parámetros fisicoquímicos en la columna de agua, seca 2002

Puntos de muestreo	OD	T°	pH	Salinidad	Conduct
1	7.37	30.17	7.20	6439	16.34
2	7.67	30.03	7.27	6020	15.10
3	7.63	30.60	5.57	6574	13.44
4	7.97	30.00	7.10	4090	11.83
5	7.93	29.33	6.80	1589	10.81

Tabla 8, Parámetros fisicoquímicos en la columna de agua, lluvia 2002

Puntos de muestreo	OD	T°	pH	Salinidad	Conduct
1	9.13	29.67	7.10	1391	10.28
2	8.1	30.23	7.23	4651	12.85
3	7.57	29.97	7.30	6733	15.43
4	7.37	29.27	6.97	6507	15.67
5	7.33	29.20	7.17	5799	15.33

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 fisicoquímica, la salinidad, la materia orgánica y caudal (Catalán L. y col., 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 la bahía, presenta las siguientes variaciones; concentraciones mínimas hasta de 7.33 mg/L en el punto de muestreo 5 en la

temporada de lluvia, lo contrario sucede con el valor de OD que arroja el punto de muestreo 1, dando un valor de 9.13 mg/L de OD en temporada en esa misma temporada. Los valores encontrados en el muestreo en temporadas de seca, oscilan entre 7.37 y 7.97 mg/L. Generalmente, las concentraciones de este parámetro no presentan mucha variación.

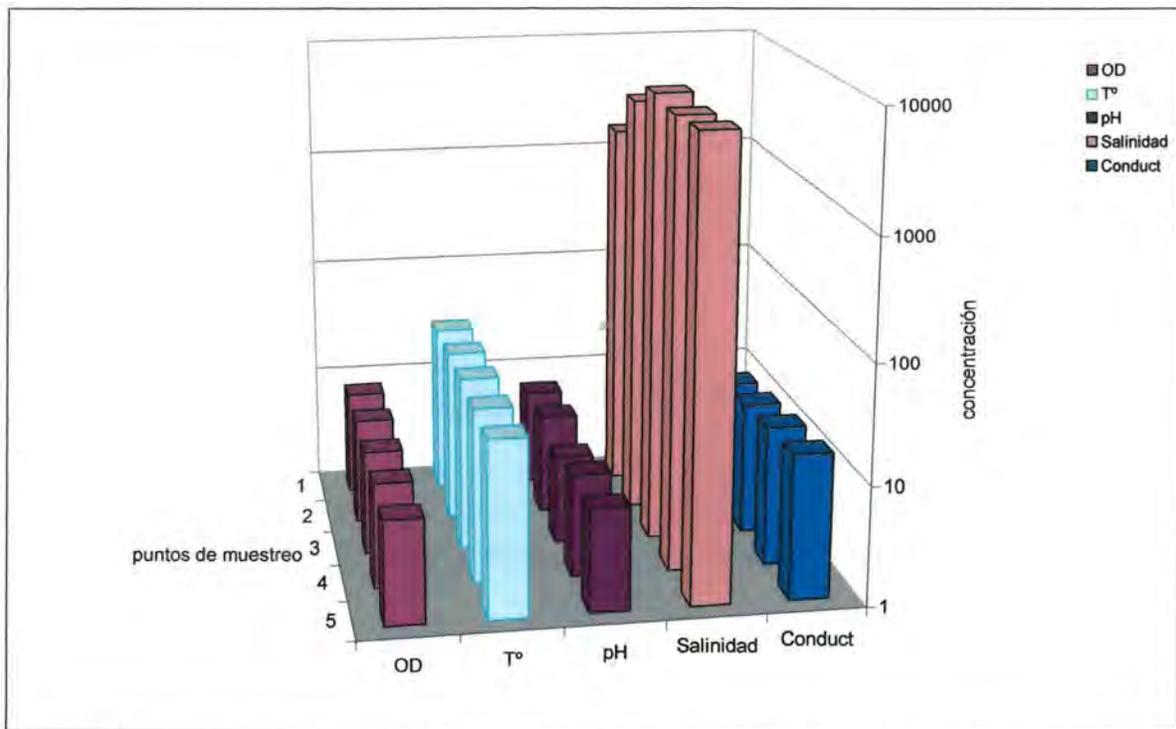


Figura 10, Distribución temporal y espacial de los parámetros fisicoquímicos en agua, seca 2002.

La temperatura del agua en la bahía 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. El valor máximo permisible para este parámetro según la legislación es de 25°C. 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.

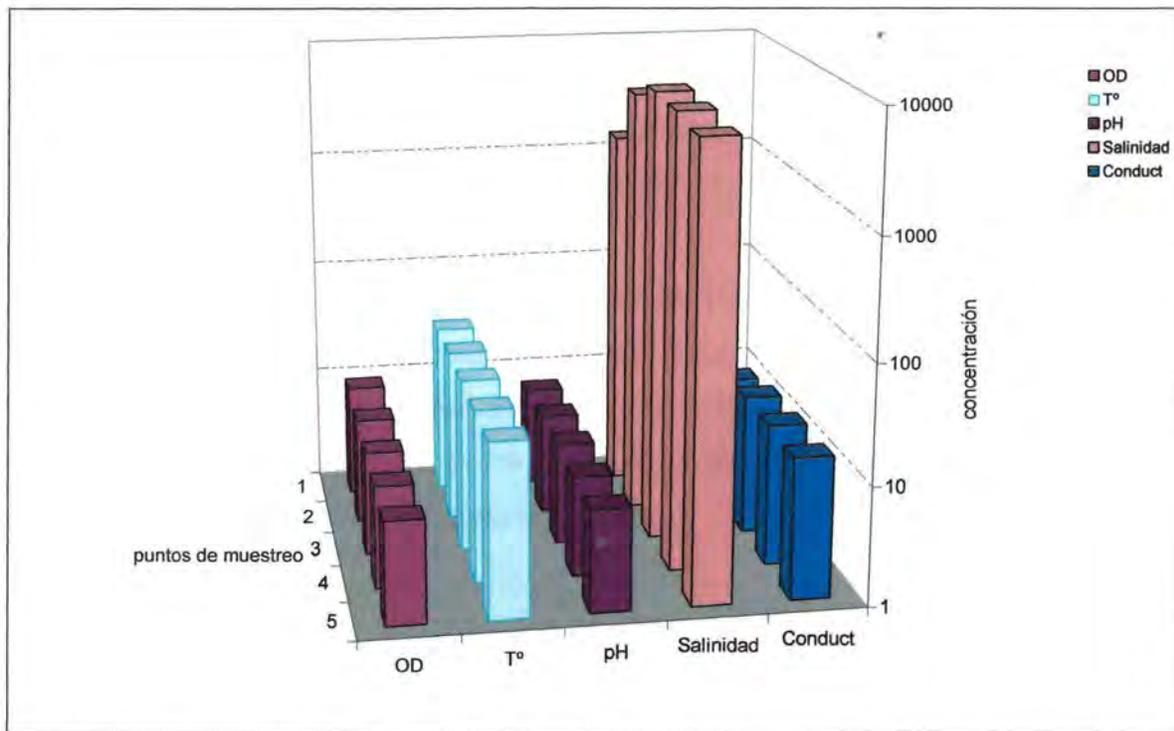


Figura 11, Distribución temporal y espacial de los parámetros fisicoquímicos en agua, seca 2002.

El pH es un parámetro importante en el agua, un pH menor que 6 es fuertemente corrosiva para los metales (Catalán L, y col., 1971; Catalán, 1997). 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, L. y col., 1971; Reppeto y Mato, 1999).

---

---

Los valores de pH oscilan entre 5.57 y 7.27 para la temporada de seca y para la temporada de lluvia oscila entre 6.97 y 7.30. Para todos los muestreos el pH se mantiene dentro de los rangos permisibles, hay una ligera disminución del pH

(5.57) en el punto de muestreo 3 (Dos mulas), en la temporada de seca, podría deberse ésta disminución del pH a la presencia de residuos domésticos o aguas aciduladas (Estudio de la Contaminación por Metales Pesados (Pb, Hg, Cd, As y zn) en la Columna de Agua y Sedimento del Río Hondo).

Salinidad, este término se define como la concentración total de los iones disueltos por kilogramo de agua, sin ser específico para cloruro de sodio. Existe una preponderancia distintiva entre los aniones como el sodio, potasio, calcio y magnesio, y los cationes como los cloruros, sulfatos y carbonatos, entre otros, para aguas de diferente origen (Martínez, 1998).

El comportamiento de la salinidad fue muy semejante para todos los muestreos, podemos describir que se mantuvo una salinidad alrededor de 6000 mg/L, para ambas estaciones climáticas a excepción de los puntos de muestreo 1 y 2, en temporada de lluvia, presentan una ligera disminución en su concentración posiblemente a causa de los vertimientos de agua dulce provenientes del río Hondo.

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, nos muestra que en el punto de muestreo 1 en temporada de seca y lluvia tiende a bajar su valor hasta  $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ , podría deberse a los vertimientos de agua dulce del río Hondo. También, podemos observar se mantiene una constancia de la conductividad en todos los puntos de muestreo, encontrando una media de  $13 \mu\text{S}/\text{cm}$ , dándole a este estuario su categoría de cuerpo de agua hiposalino.

---

#### 4.0 CONCLUSIONES

Del análisis, tratamiento y estudio de los resultados, podemos deducir las siguientes conclusiones que creemos cubran los objetivos previstos.

Los resultados presentados a lo largo de la Bahía de Chetumal, permite disponer por primera vez, de información acerca de la composición elemental de metales pesados de las Algas verdes y cafés de la bahía de Chetumal, lo cual es de importancia para el conocimiento acerca de la contaminación inorgánica de estos organismos.

1. Por primera vez, se estudió las Algas, *eteromorpha* y *polisyphonia* para evaluar la concentración bioacumulada de los metales pesados (Ag, Cd, Cr, Ni, Pb Zn, Al, Ba, Hg y As en la planta (biodisposición).
2. Se empleó el análisis estadístico de componentes principales (ACP) para caracterizar la zona de muestreo, evaluando la relación de los parámetros que determinan la calidad del agua, de los sedimentos y la bioacumulación de metales en organismos, en la red de muestreo a lo largo de la bahía de Chetumal. El área de muestreo se dividió en tres zonas por ACP efectuado en cada temporada climática y año de muestreo, encontrándose una estrecha relación y correlación de los puntos de los puntos de muestreo 2-4.
3. De acuerdo a este estudio podemos decir que 5 (Al, Hg, Pb, Zn, Ni) de los 10 metales analizados se encontraron en concentraciones elevadas. El Al (0-4991.4), Hg (0-136.39), Pb (0 – 75.39), Zn (0 - 78.18) y Ni (0 – 34.27), los otros elementos metálicos se encontraron en menores concentraciones.
4. Finalmente, podemos discutir que los metales pesados (Al, Hg, Pb, Zn, Ni) encontrados en ambos géneros de Algas, indudablemente tienen un significado importante en tema de contaminación y niveles permisibles.

---

## 5.0 RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir un estudio detallado de la contaminación por metales pesados en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, aplicando nuevas técnicas para su determinación tales como Horno de Grafito y ICP, para así poder determinar elementos a nivel traza.

Se debe llevar acabo un muestreo más amplio donde no solo se estudie la bahía, también río Hondo y las lagunas costeras que desembocan en ella. Ya que publicaciones recientes (Yam O., 2004) comenta que los cenotes que se localizan en la península de Yucatán y en las lagunas cercanas a la bahía, se originaron por la caída de meteoritos en la península yucateca, y ellos trajeron metales como Plomo, Iridio, entre otros.

---

## 6.0 BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, L.M.T. Plaguicidas Organoclorados en sedimentos de la bahía de Chetumal y del río Hondo. Una revisión de estudios realizado de 1993-1999, 171-178, 2002.

Basso M.C., Cerrella E.G. y Cukierman A.L. 2002. Lignocellulosic materials as potential biosorbents of trace toxic metals from wastewater. *Ind. Eng. Chem. Res.* 41,15, 3580-3585.

Bayne, B. L. Clarke K. R. y Gray J. S. 1988. Background and rationale to a practical workshop on biological effects of pollutants. *Mar.Ecol. Prog. Ser.*46:1-5

Botello, A. V. 1992. "Ecología, Recursos costeros y contaminación en el Golfo de México". *Ciencia y desarrollo*. Vol. XVII, No. 102.

Camarena -Luhrs, T. y Salazar-Vallejo S. (eds). 1991. Estudios ecológicos preliminares de la zona sur de Quintana Roo, Chetumal 230 pp.

Carranza-Edward, Gutiérrez M. Y Rodríguez, T. 1975. Unidades morfotectónicas continentales de las costas Mexicanas. *An. Centr. Cienc. Del Mar. Limnol. UNAM* 2(1): 81-88.

Carrera-Parra, L. F., González, N. E. Y Salazar-Vallejo, S. I. 1997. Bentos litoral de la Bahía de Chetumal, Q. Roo. In: Ortiz, H. (coord.) Estudio emergente sobre la mortalidad de los bagres en la bahía de Chetumal, El Colegio de la frontera Sur, Chetumal, 72 p.

Chapman, A.R.O 2005, *Botanica Marina*, Halifax, Canada Editor in Chief. Pp. 122-124

Chavira, M., Briseño, J., Negroe A., Pérez, J., Sánchez T. y Hoil R. 1992.

---

Clarke K. R. y Green, R. H. 1988. Statistical design and analysis for a biological effects study. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 46: 213-226.

Clinton J. Dawes 1991. *Botánica Marina*. ED. Limusa México, Universidad del sur de Florida.

Cynthia D. Kelly , Thomas J. Fellers y Michael W. Davidson - laboratorio alto nacional del campo magnético, el Dr. del este de 1800 Paul Dirac, la universidad de estado de la Florida, Tallahassee, la Florida, 32310.

Diagnostico de la calidad del agua en la Bahía de Chetumal, Q. Roo. 2002. *Avacient*: 3: 16-31

Ee Eur. J. Phycol de S. 2003. Linnaeus correcto todos adelante: *Ulva* y *Enteromorpha* no son especie distinta. 38: 277-294.

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

García, 1973. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koopen*. Instituto de Geografía, UNAM 1ª ed. México, México, D. F. 246 p.

Garnham, G.W., Codd, G.A., Gadd, G.M., 1992. Kinetic of uptake and intracellular location of cobalt, manganese and zinc in the estuarine green alga *Chlorella salina*, *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 37:270-276.

Gasca, R., y Castellanos I. 1993. Zooplankton de la Bahía de Chetumal, Mar Caribe, México. *Rev. Biol. Trop.* 41 (3): 619-625.

H.Stegenga, I. *Mol, flora van de Nederlandse zeewieren* , KNNV 1983.

Harte,j., C.Holden, R.Schneider, C Shirey, 1991. *Toxics A to Z. A guide to Everyday pollution hazards*. Univ. of California Press.

---

Lankford, R. R., 1977. Coastal lagoons of Mexico. Their origin and clasification. En F. Costeras, las lagunas costeras Mexicanas, Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de pesca, 1985.

Maggs de C.A, M.H. Hommersand 1993. , algas marinas de las islas británicas Vol.1, Rhodophyta, Londres, el museo de la historia natural.

Marcovecchio, j.e.; Moreno, v.j. & a. Perez. 1991. Metal accumulation in tissues of sharks from the Bahía Blanca Estuary, Argentina. Marine Environmental Research vol. 31: 263-274.

Morales, B. y Olivera, L. D., 1994. Distribución Especial y estimación poblacional de los manatíes en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Rev. Inv. Cient., UABCS, 2.

Ortíz, M. C. (Coord.) 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 Chetuma, Q.Roo.

Ortíz, M. C. Y Sáenz, R. M. 1995. Plaguicidas organoclorados. In: Ortiz, H. Coord, Estudio Emergente sobre la mortalidad de bagres en la Bahía de Chetumal, El Colegio de la Frontera sur, Chetumal, 72 pp.

Phillips, D.J.H., 1997. The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. A review, Environ. Pollut., 13: 281- 317.

Pusey, 1964. Recent Calcium Carbonate Sedimentation in Northern British Honduras, Ph. D. Thesis, Rice University, Houston, 247 pp.

Rubio B, Gago L, Vilas F, Nombela M, Garcia-Gil S, Alejo I, Pazos O (1996) Interpretación de tendencias históricas de contaminación por metales pesados en testigos de sedimentos de la Ría de Pontevedra. *Thalassas* 12: 137-152.

---

Sadiq M (1992) *Toxic metal chemistry in marine environments*. Marcel Dekker. New York. 390 pp.

Salazar-Vallejo, S. I. y González E. 1993. Biodiversidad Marina y Costera de México. Centro de Investigaciones de Quintana Roo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Aprovechamiento de la Biodiversidad (CONABIO). México. 698-699 pp.

Salazar-Vallejo, S. I., Jiménez-Cueto, S., Oliva-Rivera, J. J. y González E. 1991. Fauna Béntica in: Camarena-Luhrs. T y Salazar-Vallejo edit. Estudios Ecológicos preliminares de la zona sur de Quintana Roo. Centro de Investigaciones de Quintana Roo, México. Dirección de Investigación Científica, 231 pp.

Seminario Taller de Manejo Ambiental de zonas costeras, octubre, 1995., Universidad de Cartagena, Instituto de Hidráulica y saneamiento Ambiental.

Wantland, K.F. 1969. Foraminiferal assemblages of the Coastal Lagoons of British Honduras. Lagunas Costeras, un Simposio. Mem. Simp. Intern. Lagunas Costeras. UNAM-UNESCO, Nov. 28-30.

**Liga de Internet:**

<http://www.monografias.com/trabajos14/algas/algas.shtml>

<http://www.lenntech.com/espanol/metales%20pesados.htm>

---

# **ANEXOS**

**ANEXO A. PREPARACIÓN DE ESTÁNDARES PARA EL ANÁLISIS DE Pb, Cd, Hg, As, Zn, Ag, Ni, Al, Cr y Ba CON ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA**

Tabla I. Plomo (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{L}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	2.5	100	5	2.5
2	5.0	100	5	5.0
3	10.0	100	5	10.0
Muestra	---	100	5	---

Tabla II. Parámetros Instrumentales para análisis del Plomo (Varian, 2002).

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

Tabla III. Cadmio (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{L}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	10	100	5	10
2	20	100	5	20
3	40	100	5	40
Muestra	---	100	5	---

Tabla IV. Parámetros Instrumentales para análisis del Cadmio (Varian, 2002).

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

Tabla V. Mercurio (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ 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, 2002).

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. Arsénico (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	10	100	5	10
2	20	100	5	20
3	40	100	5	40
Muestra	---	100	5	---

Tabla VIII. Parámetros Instrumentales para el análisis del Arsénico (Varian, 1999).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	193.7 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	10.00
Flujo de combustible	2.45
Corrección de fondo	Si

Tabla IX. Zinc (Varian, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ 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 X. Parámetros Instrumentales del Zinc (Varían, 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

Tabla XI. Níquel (Varían, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	20	100	5	20
2	40	100	5	40
3	80	100	5	80
Muestra	---	100	5	---

Tabla XII. Parámetros Instrumentales del Níquel (Varían, 2002).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	232.0 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	3.5
Flujo de combustible	1.50
Corrección de fondo	Si

Tabla XIII. Plata (Varían, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	10	100	5	10
2	20	100	5	20
3	40	100	5	40
Muestra	---	100	5	---

Tabla XIV. Parámetros Instrumentales del Plata (Varían, 2002).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	328.1 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	3.5
Flujo de combustible	1.50
Corrección de fondo	Si

Tabla XV. Bario (Varían, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	15	100	5	15
2	30	100	5	30
3	60	100	5	60
Muestra	---	100	5	---

Tabla XVI. Parámetros Instrumentales del Bario (Varían, 2002).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	553.6 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	3.5
Flujo de combustible	4.50
Corrección de fondo	Si

Tabla XVII. Aluminio (Varían, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	60	100	5	60
2	120	100	5	120
3	240	100	5	240
Muestra	---	100	5	---

Tabla XVIII. Parámetros Instrumentales del Aluminio (Varían, 1999).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	309.3 nm
Método	Concentración
Flujo de aire	3.5
Flujo de combustible	4.5
Corrección de fondo	Si

Tabla XIX. Cromo (Varían, 1999).

ADICIÓN	ESTANDAR $\mu\text{L}$	SOLVENTE mL	MATRIZ $\mu\text{l}$ ( $\text{HNO}_3$ , 5%)	CONCENTRACIÓN mg/L
Blanco	0	100	5	0
1	10	100	5	10
2	20	100	5	20
3	40	100	5	40
Muestra	---	100	5	---

Tabla XX. Parámetros Instrumentales del Cromo (Varían, 1999).

Parámetros Instrumentales	
Longitud de Onda	357.9nm
Método	Concentración
Flujo de aire	3.5
Flujo de combustible	1.50
Corrección de fondo	Si