

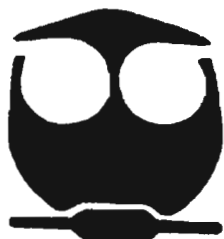


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Presencia de Fe y Cr en *Thalassia testudinum* del
Golfo de México y Mar Caribe

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
OTILIA ZELINDABETH RUIZ NORIA



MEXICO, D.F. **EXAMENES PROFESIONALES**
FACULTAD DE QUIMICA

2005

m 349268



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente	Dra. Liliana Saldivar Osorio.
Vocal	M. en C. María Isabel Gracia Mora.
Secretario	Dra. Ana María Martínez Vázquez.
1°. Suplente	M. en C. Baldomero Gómez Reyes.
2°. Suplente	Dr. Alfonso Durán Moreno

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Otilia Zelindabeth Ruiz Noria

FECHA: 10 / octubre / 2005

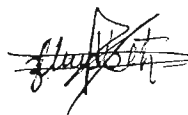
FIRMA: 

Asesor del tema



Ana María Martínez Vázquez.

Sustentante



Otilia Zelindabeth Ruiz Noria.

En memoria de
Ing. Ignacio Noria Ruiz

Agradecimientos

Agradezco a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONAMP) en especial al director del Área de Protección de Flora y Fauna Yum – Balam, el Dr. Francisco Remolina por su amplia cooperación.

Al Instituto de Investigaciones en Materiales en donde realicé esta tesis, y por el apoyo brindado con proyecto DGAPA IX-22904.

A la Dra. Ana Martínez V, pero no a la Investigadora ni a la profesora, si no a la amiga y mujer que me ha enseñado la satisfacción de servir la disciplina del esfuerzo, el temperamento de la simplicidad, la virtud de la paciencia y la puntualidad, lo fructífero de la perseverancia y la alegría del triunfo....

A la Dra. Liliana Saldivar por el análisis de las muestras por medio de Absorción Atómica y sus aportaciones a esta tesis.

A la M. C. Isabel Gracia Mora por sus valiosos comentarios acerca de este trabajo

A todos mis amigos Karla, Sergio, Fer, Roquito, Ulises, Eder, Neto, Carito, Elba, Ramón, Selene y a la Ing. Elizabeth Salazar, amiguita muchas gracias por tus sabios consejos y por llenar con tu luz los malos momentos.

Ernesto, en este trabajo también te incluyo a ti por ser en mi vida actual una persona de gran valor, agradezco mucho tu gran paciencia, tus relatos, las vivencias contigo y sobretodo tu cariño. Te quiero mucho.

A mi casa, la Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas y darme tantas enseñanzas

Dedicatorias

Quiero dedicar esta tesis a mis padres: Yolanda Noria Bastida y José Gilberto Ruiz Palma, como un testimonio de profundo amor, gratitud, respeto y por el gran ejemplo que me han dado como personas, como padres, como amigos y como profesionistas. De los cuales me siento orgullosa como hija y como ser humano. Le doy gracias a Dios de poder estar a su lado y poder entregarles este trabajo como agradecimiento a todo su esfuerzo y dedicación. Los quiero mucho.

Mamita, porque con tu ejemplo, trabajo, sacrificios, esfuerzo, valor, sufrimientos e independencia, inculcaste en mi el deseo constante de superación.

A mi hermano Edgar, de quien estoy profundamente orgullosa y agradecida por el excelente papel no sólo de hermano sino de padre y de un gran amigo. Confiaste en mí para llegar a este punto, ahora no me queda más que agradecer tus lecciones y detalles que por siempre llevaré en el corazón.

A mi hermanita Katy, quien además es mi mejor amiga. Gracias por tu paciencia, ternura, confianza, comprensión, consejos y apoyo incondicional en todo momento.

A toda mi familia, en especial a mi Abue, mis tías Ninfa y Gloria, mis primos Christy, Omar, Yule, Leslie, Zeitlin y Erandi ah y a mi Chiquinina, que siempre me han apoyado y alentado día tras día para seguir adelante.

A todas las personas que han creído en mí...

ÍNDICE

Agradecimientos

Dedicatorias

Resumen 1

Introducción 3

Marco Teórico

Pastos Marinos 5

Thalassia buen indicador 6

Metales pesados 8

Cromo

Características 10

El caso de Cromatos de México 16

Hierro

Características. 18

Anemia biológica 19

Zonas de Muestreo

Holbox. 23

Puerto Morelos 25

La Mancha 27

Antecedentes 29

Hipótesis 31

Objetivos 32

Metodología

Recolección de muestras. 33

Preparación de muestras 36

Análisis de muestras 36

Resultados 37

Discusión

Cromo	
<i>Estudio General</i>	43
<i>Influencia de las lluvias</i>	47
<i>Comportamiento de la laguna Yalahau</i>	51
Hierro	
<i>Estudio General</i>	54
<i>Influencia de las lluvias</i>	58
<i>Comportamiento de la laguna Yalahau</i>	60
Conclusiones	63
Apéndice I	65
Referencias Bibliográficas	69

RESUMEN

El análisis de metales pesados en ambientes marinos se ha realizado desde hace tiempo; sin embargo, este tipo de trabajo tiene que hacerse de forma más o menos continua, dada la dinámica situación de los ecosistemas. De esta forma, el análisis sistemático de la presencia de contaminantes es indispensable.

El análisis de cualquier contaminante tiene una importancia intrínseca indudable. En particular el análisis de metales pesados es esencial, debido a que pueden representar un riesgo a la salud que puede pasar desapercibido y por lo mismo tener un gran peligro potencial. El diagnóstico es necesario para reconocer la situación actual de los ecosistemas y empezar a proponer medidas para su restauración.

Este proyecto de tesis surge de uno más general en donde se analiza y cuantifica la presencia de metales pesados como Cu, Cd, Ni, Zn, Co, Cr, Pb, As, Fe, V y Hg. En este trabajo se consideran dos, Fe y Cr, en zonas importantes de México, para establecer la contaminación en estos lugares y después localizar las posibles fuentes.

Se seleccionaron estos dos metales porque el cromo es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, que ocupa un lugar importante en los procesos biológicos e industriales, además de ser un nutriente que está presente en los humano. En concentraciones altas, el cromo es un elemento toxico. El hierro es un metal abundante y sus yacimientos se distribuyen por toda la tierra. Además es un metal esencial para ciertos organismos y está contenido en la hemoglobina. También se sabe que es esencial para el ciclo vital de las plantas, ya que está involucrado en la síntesis de clorofilas, y participa en sistemas enzimáticos importantes para su metabolismo.

Las zonas de estudio serán Laguna de La Mancha (Veracruz), Holbox y Puerto Morelos (ambos en Quintana Roo). Estas zonas fueron elegidas porque en todas ellas existe la presencia de *Thalassia testudinum* (Contreras, 1993). Además, Holbox y Puerto Morelos son lugares que forman parte de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de *Yum-Balam* y *Parque Nacional de la región Arrecife de Puerto Morelos*, respectivamente, por lo que no se efectúan actividades industriales que pudieran afectar fuertemente al ambiente, con lo cual

inferimos que no se trata de sitios que tengan una concentración comparativamente alta de metales pesados. La laguna costera de La Mancha se encuentra ubicada en una de las desembocaduras que llegan al Golfo de México, que además se encuentra asociada con el *Río Grande* que constituye el principal efluente de agua dulce. En esta parte del Golfo de México las descargas domésticas e industriales pueden considerarse de importancia. Otra de las razones para seleccionar estos lugares es el tipo de suelo, pues en el Caribe el suelo es carbonatado y en la costa del Golfo de México es de tipo terrígeno (Merino, 1989). Esto puede reflejarse en nuestros resultados.

INTRODUCCIÓN

La exigencia actual de acompañar el crecimiento económico-social con la adecuada y sostenible utilización de los recursos naturales nos lleva a pensar en las complejas interrelaciones entre los ámbitos social, económico, cultural, político y ecológico. Esta creciente atención por buscar la integración ambiental y el desarrollo, intenta orientar las políticas hacia la satisfacción de las necesidades básicas, mejorando los niveles de vida de los habitantes, procurando ecosistemas mejor protegidos y administrados, así como un futuro más seguro y con propuestas para la mejora del ambiente.

Como parte del crecimiento económico, social y político las actividades humanas han modificado drásticamente el equilibrio y los ciclos biogeoquímicos de algunos metales pesados. Al no poder degradarse ni destruirse, los metales pesados son contaminantes estables y persistentes del ambiente, que tienden a acumularse en los suelos y sedimentos. En particular los niveles excesivos en el medio marino pueden afectar la biota y plantear riesgos de acumulación para las personas que consumen alimentos provenientes del mar.

Las principales fuentes antropogénicas de metales pesados son las industrias, las actividades mineras (actuales y pasadas), las fundiciones, las fuentes difusas como las tuberías, las emisiones de la combustión, los accidentes químicos y los derrames petroleros (que no son frecuentes, pero cuando ocurren originan grandes daños al ambiente, alterando los ciclos biogeoquímicos). Los metales pesados transportados en medios acuosos y sedimentarios se integran al ciclo biogeoquímico costero normal, y en gran medida quedan retenidos en las regiones cercanas a la costa y en la plataforma continental.

Alrededor de 40 elementos se clasifican como metales en el ambiente. Algunos, como el grupo de los alcalinotérreos y otros elementos traza, son esenciales para la vida, mientras que otros tienen un gran potencial para provocar efectos dañinos a la salud. Los macro nutrientes como el calcio, el magnesio, el hierro, el potasio y el sodio son particularmente importantes para sostener la vida, pero pueden ser tóxicos en concentraciones excesivas. Los elementos traza como el cromo (en su estado de oxidación 3+), el cobalto, el cobre, el

manganeso, el níquel, el selenio y el zinc forman parte de la estructura de ciertas moléculas y pueden servir como cofactores de enzimas en procesos metabólicos. Sin embargo, estos elementos en altas concentraciones son también tóxicos. Algunos elementos como el plomo, el cadmio y el mercurio pueden deteriorar los tejidos en cualquier concentración, por lo que se consideran altamente peligrosos.

Antes de realizar la restauración de los ecosistemas es necesario tener un diagnóstico de la situación en la que se encuentran. En este proyecto nos preocupamos por conocer los niveles de contaminación en diferentes áreas del Golfo de México y el Mar Caribe, haciendo énfasis en las posibles fuentes de contaminación por cromo y hierro.

Para el análisis se utilizará la *Thalassia testudinum* (pasto marino) como bioindicador, ya que se ha demostrado que es útil para este propósito. Se utilizan tres muestras distintas, y se hacen al menos tres réplicas de cada una. El análisis se hará por medio de absorción atómica (Facultad de Química).

MARCO TEÓRICO

□ Pastos Marinos

Los pastos marinos son pieza fundamental en este estudio pues son considerados bioindicadores, es decir, son organismos que ayudan a descifrar cualquier fenómeno o acontecimiento actual (o pasado) relacionado con el estudio del ambiente en el que se desarrollan. Un organismo es un buen bioindicador si es de tamaño razonable, es sedentario, es fácilmente colectable, se reproduce rápida y fácilmente y es abundante en el área de estudio (Phillips, 1980) (Brix, 1983). Los pastos marinos cumplen con estas características por lo que sirven como bioindicadores en la determinación de metales pesados.

Los principales pastos marinos son *Thalassia testudinum*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera capricorni*, *Syringodium filiformis* y *Halodule wrightii*. Las comunidades de pastos marinos se distribuyen en dos grandes zonas oceánicas: el Indo-Pacífico y la cuenca del Caribe-Golfo de México que se muestra en la Figura 1.

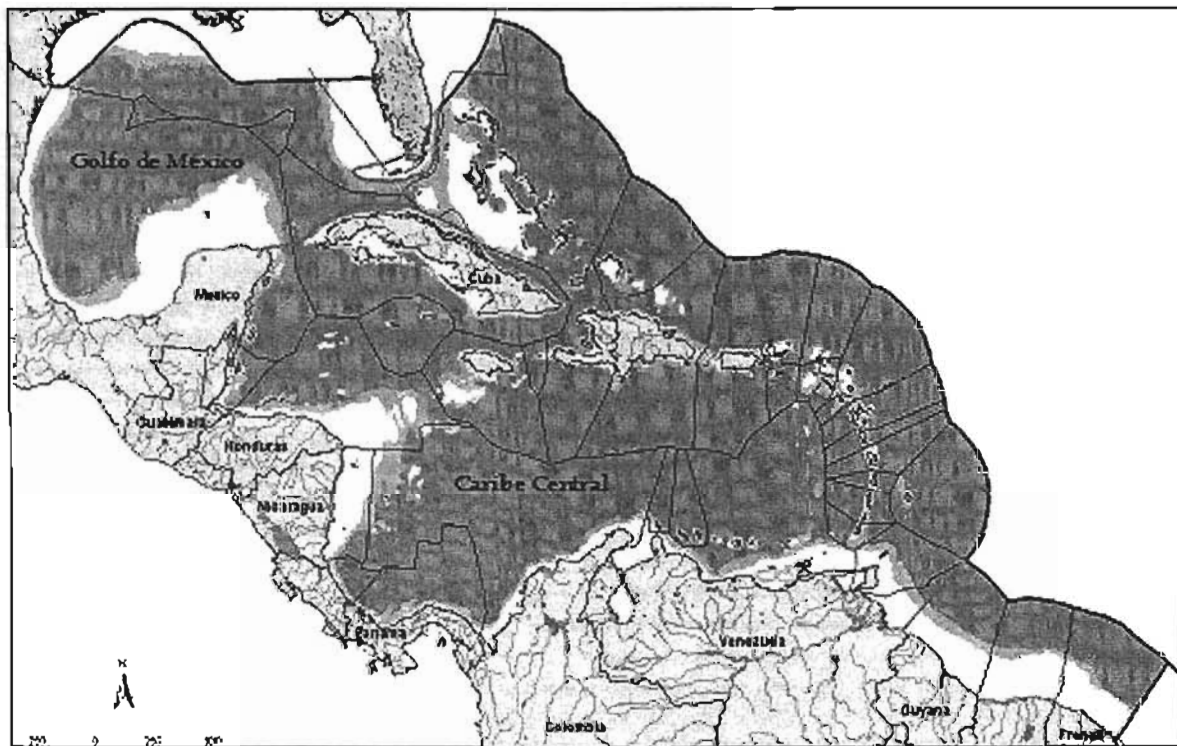


Figura 1. Cuenca del Caribe-Golfo de México

Las funciones de los pastos marinos se enuncian a continuación:

- son una de las vías de entrada de la energía que garantiza la gran productividad biológica y pesquera en nuestra plataforma (Stoner, 1980);
- constituyen zonas de reclutamiento, refugio y alimentación de miles de especies, como los cangrejos, camarones, moluscos, erizos, estrellas de mar, además de varias especies de peces como el pez ángel, el pez lagarto y el pez sargento (Gutierrez -Aguirre, 2000);
- actúan como estabilizadores del fondo, previniendo su erosión y la afectación de los arrecifes y de las playas (Van Tussenbroek, 1995);
- constituyen una fuerte reserva ecológica de materia y energía en forma de biomasa, parte de la cual se exporta a los arrecifes y al océano, lo que aumenta su productividad (van Tussenbroek, 1995);
- regulan la concentración de oxígeno y CO₂ en el mar (Thorhaug, 1986);
- actúan como sustrato para una gran variedad de algas epífitas (Thorhaug, 1986);
- condicionan fuertemente los procesos biogeoquímicos locales (Van Tussenbroek, 1995).

Debido a la importancia de sus funciones, y a su localización, los pastos poco profundos cercanos a las costas y sobre bancos (menos de 2 m de profundidad), y aquellos ubicados en las lagunas de arrecifes o en zonas donde habitan los manatíes, se consideran como áreas ecológicamente esenciales y muy frágiles (Lot, 1977)

- *Thalassia buen indicador*

El pasto marino *Thalassia testudinum*, es una planta fanerógama que evolucionó como los mamíferos marinos para adaptarse a la vida marina. Lo que la hace tan importante es su alta productividad primaria y su función como refugio y sustrato para muchas especies pequeñas o los juveniles de las especies mayores. Entre las cosas que hacen especial a esta planta es que se encuentra en las costas del Golfo de México y el Caribe, y por ello se puede usar de muchas formas para la investigación.

Su distribución en estas regiones se encuentra limitada por varios factores, como la temperatura, la salinidad, la profundidad, la turbidez y el movimiento de las olas. Por ejemplo, una combinación de turbidez alta con baja salinidad del agua disminuye el crecimiento de las camas de *Thalassia testudinum*. (Jordan E., De la Torre R., 1987)

La *Thalassia testudinum* se distribuye desde Florida hasta el Golfo de México, el Caribe, las Bermudas, las Indias Occidentales, Centro América y Venezuela (como se ve en la Figura 1) (De la Lanza 1986, Dawes 1991). Estas zonas son sumamente importantes ya que son sitios de alta sedimentación debido a la captura de material particulado orgánico, por lo que los pastos contribuyen a la estabilización del sustrato. Las comunidades de estos pastos representan áreas de crianza, reproducción y protección para diversas poblaciones de peces e invertebrados, constituyendo un hábitat bien definido en el medio arrecifal (ver Figura 2). En particular, este pasto marino también es una fuente directa de alimento para una gran variedad de especies de invertebrados macrobentónicos. Por otro lado, juega un papel de primera importancia en el reciclaje de nutrientes y contribuyen al contenido orgánico de los sedimentos, por el crecimiento continuo de sus rizomas y la descomposición de éstos en el sustrato.

En este trabajo consideramos como un bioindicador a la *Thalassia testudinum* porque además de que se encuentra en nuestras tres áreas de estudio, lo hay en abundancia, se puede coleccionar sin problema y se reproduce rápida y fácilmente.



Figura 2. Praderas de *Thalassia testudinum*

□ Metales Pesados

Se considera metal pesado aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20. Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. Junto a estos metales pesados hay otros elementos químicos que aunque son metales ligeros o no metales, se suelen englobar con ellos por presentar orígenes y comportamientos parecidos, como el arsénico (Tovar, 2000). Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

a) *Esenciales*, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están Co, Cu, Cr, Mo, Mn, Ni, Fe y Zn. En la Tabla 1 se presentan algunos ejemplos de sus funciones y la dosis recomendada para el ser humano.

<i>Tabla 1. Requerimientos y funciones de algunos elementos</i>		
Elemento	Requerimiento diario ^a	Función
Hierro (Fe)	10 mg para hombres 18 mg para mujeres	Forma parte de la hemoglobina y de muchas enzimas
Cobre (Cu)	2.0 - 3.0 ^b	Es parte de las enzimas necesarias para la formación de la hemoglobina, los vasos sanguíneos y los huesos.
Zinc (Zn)	15 mg	Es esencial para muchas enzimas, para la función normal del hígado y para la síntesis del DNA
Cobalto (Co)	No se conoce	Es parte de la molécula de la vitamina B12
Manganeso (Mn)	2.5 - 5.0 mg ^b	Es esencial para diversas enzimas, el crecimiento de los huesos y cartílagos, y para las funciones del cerebro y tiroides.
Cromo (Cr)	0.05 -0.2 mg ^b	Es esencial para mantener el nivel correcto de azúcar en la sangre.
Molibdeno (Mo)	0.15- 0.5 mg ^b	Se requiere para la función de diversas enzimas
Níquel (Ni)	No se conoce	Se necesita para el crecimiento y la reproducción óptimos de los animales.

^a Dieta diaria recomendada para hombres y mujeres (19 -22 años) establecidas por la "Food and Nutrition Borrad, Nacional Academy of Sciences- Nacional Research Council", en 1980.

^b Dosis diarias, seguras y adecuadas, recomendadas para adultos.

b) *Metales no esenciales*, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse. Son, principalmente, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi.

Para este trabajo se analizará la presencia del cromo y el hierro en los pastos marinos. Se sabe que el hierro es un micronutriente que se encuentra en concentraciones bajas en las plantas, pero que es de importancia vital para llevar a cabo buena parte de las reacciones bioquímicas que tienen lugar en estos organismos. Para este metal no se reportan niveles tóxicos. El cromo también es esencial, pero a determinados niveles puede ser tóxico. Por esta razón se le denomina micronutriente tóxico (Hernández, 1989).

Cromo

- Características

El número atómico del cromo es 24, con una masa atómica de 51.996 uma. Pertenece a la serie de elementos transicionales del grupo 6 del sistema periódico. Presenta grados de oxidación desde -2 hasta +6, pero en el suelo sólo se conocen: 0, +2, +3, +6.

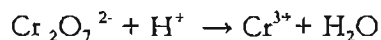
De los diferentes estados de oxidación que presenta el cromo, los más comunes en la Tierra son +2, +3 y +6. Los estudios demuestran que la toxicidad de este elemento depende de su número de oxidación.

Para poder explicarnos la toxicidad, es importante entender que cuando un elemento cede un electrón se oxida mientras que cuando lo gana se reduce. Los elementos que presentan gran facilidad para ceder electrones y oxidarse se les conoce como reductores, y a los elementos atraídos a ganar electrones y reducirse se les conoce como oxidantes.

El cromo +2 es muy inestable y se oxida muy fácilmente con el aire. Por lo mismo no se encuentra en los sistemas biológicos.

El estado de oxidación +3 es el más estable en el cromo en condiciones ambientales. El cromo +3 tiene una fuerte tendencia a formar compuestos de coordinación, por lo que nunca existe libre en solución acuosa, sólo en forma coordinada ya sea con el agua o con otros ligantes de la solución (con una fuerte tendencia a sustituir los enlaces con el agua por otros enlaces).

El cromo +6 es un fuerte agente oxidante y generalmente se encuentra unido a moléculas de oxígeno formando los llamados cromatos y dicromatos, los cuales fácilmente se reducen a cromo +3 en solución ácida de acuerdo a la siguiente reacción:



Al ser un fuerte agente oxidante actúa sobre la materia orgánica. La oxidación provoca el deterioro de la materia orgánica y es por esta razón que el cromo +6 se considera altamente tóxico. Es decir que el cromo 6+ es el más oxidante lo que lo hace el más tóxico.

Un análisis correcto de la contaminación por cromo debe contemplar que el cromo es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza. Se mide de manera total porque pasa de un estado de oxidación al otro y resulta prácticamente imposible medir sólo cromo +6.

Para hacer un balance correcto de la peligrosidad del cromo deben conocerse perfectamente sus posibles fuentes de origen y mecanismos de toxicidad, lo que permitirá estudiar y establecer en lo futuro medidas objetivas, aplicables y válidas para cada caso de contaminación particular. Como se muestra a continuación, en la Tabla 2, el cromo es un elemento cuyo uso y consumo en la industria es muy extenso.

Industria metalúrgica	Entre el 60 y 70 % de la producción anual se utiliza en la manufactura de aleaciones cromo acero; incrementa la resistencia y durabilidad de metales cromados
Industria química	Se utiliza el 15 % de la producción anual en el cromado; la anodización de aluminio; la separación de cobre; es inhibidor de corrosión; en fotografía; purificación de aceite y acetileno; endurecedor de preparaciones microscópicas; preparación de catalizadores de cromo; conductores eléctricos; aleaciones; catalizador de reacciones orgánicas e inorgánicas; preparación de otras sales cromosas; absorción de O ₂ en análisis de gases.; halogenación; baterías eléctricas; depolarizador de celdas secas.
Industria de la refinación de petróleo	Catalizador en la hidrogenación de olefinas; catálisis de polímeros de olefinas e isomerización; aditivo de gasolina para subir octanaje; oxidación de hidrocarburos; producción de aldehídos y cetonas (reacción de Etard); preparación de complejos de coordinación de Cr; refinación de petróleo
Industria textil	Como fijador de tintas, tinción de madejas de algodón; curtiduría; impresión textil
Industria papelería y de tinción	Los hidratos se usan en la imprenta, tinción del mármol, tratamiento de sedas, pulimiento de metales; pigmento de colores de agua y aceite; decoración de porcelana; análisis químico de sustancias orgánicas. Pigmentos desde café amarillo a rojo; imprenta, cerillos, fuegos pirotécnicos; blanqueo de aceite de palma, cera y esponjas.
Agricultura	Fungicidas, protectores de semillas, preservativos de madera; protector de textiles contra insectos y microorganismos; catalizador de hidrogenaciones selectivas.
Construcción	El 15 % de la producción anual se utiliza para la fabricación de ladrillos refractarios para el revestimiento de hornos

^a Alloway 1990

^b Greenwood and Earnshaw 1984. Producción anual se estima en 10 millones de toneladas.

Las principales actividades que generan contaminación por cromo son:

- la industria metalúrgica y de producción de cromatos (en forma trivalente y de cromo cero) (Sullivan, 1969);
- la industria de cromado que vierte ácido crómico (Bidstrup, 1978);
- el uso de cromatos como preservativos de madera en torres de enfriamiento (Udy, 1965);
- en la elaboración de cohetes y cerillos (aproximadamente 400 billones al año en E.U.A.);

El cromo entra en el ambiente principalmente en las formas de cromo +3 y cromo +6 a través de procesos naturales y actividades humanas. En la atmósfera, los compuestos de cromo están presentes en forma de pequeñas partículas de polvo que se depositan sobre la tierra y el agua; el cromo se adhiere firmemente al suelo y solamente una pequeña cantidad se disuelve en el agua, aumentando la concentración de cromo en el subsuelo y los depósitos freáticos.

El cromo +3 es un elemento esencial en los seres vivos. Las plantas lo absorben en cierta cantidad después de la cual se presentan efectos negativos. El cromo +6 (hexavalente) no aparece de forma natural en el medio ambiente, pues es el resultado de actividades antropogénicas relacionadas con los procesos industriales.

Para obtener una imagen global de la situación es necesario recordar que los distintos sectores (agua, aire y suelo) del ambiente están relacionados entre sí y no podemos considerarlos aislados el uno del otro: la contaminación atmosférica eventualmente se deposita en la superficie de suelos, ríos y mares por medio del ciclo del agua. Con las lluvias la contaminación de los ríos se filtra a las zonas adyacentes.

En las Tablas 3 y 4 se presentan los niveles estimados y la descarga mundial de cromo producto de las actividades antropogénicas. Se observa que en suelos es mayor que en el aire.

<i>Tabla 3. Niveles estimados de las emisiones antropogénicas de cromo a nivel mundial en el aire (Nriagu 1990, Nriagu and Pacyna 1988)</i>	
Manufactura de hierro y acero	15.6*
Generación energética (combustión de carbón y petróleo)	12.7*
Producción de cemento	1.3*
Incineración de desechos (residuos y lodos cloacales municipales)	0.8*
TOTAL	30.4*

* Emisiones (miles de toneladas / año)

<i>Tabla 4. Descarga mundial de cromo a los suelos (Nriagu 1990, Nriagu and Pacyna 1988)</i>	
Productos de manufactura descartados	458*
Cenizas de carbón	298*
Desechos agrícolas y animales	92*
Precipitaciones atmosféricas radioactivas	22*
Residuos urbanos	20*
Desechos municipales cloacales y orgánicos	6.5*
Desechos sólidos de la producción de metales	1.5*
Fertilizantes y turba	0.32*
TOTAL	898.32*

* Emisiones (miles de toneladas / año)

El cromo se encuentra naturalmente en el agua de mar, ríos, lagos y pozos. Los ríos generalmente presentan concentraciones mayores (los ríos de Estados Unidos muestran valores entre 0.7 y 84 g/L, estando la mayoría entre 1 y 10 ppb) que en los mares (generalmente menores a 1 ppb) (Hartung R, 1983). Aproximadamente 6.7×10^6 kg de cromo (principalmente hexavalente) son arrastrados anualmente al mar por los ríos (Bowen, 1986).

Seguramente las especies animales y vegetales de los ríos y mares están adaptadas a su medio ambiente, en este caso a concentraciones específicas de cromo. Si la concentración del cromo aumenta rápida y drásticamente, es posible que se presenten severos daños sobre estos organismos. Se señala que la contaminación por cromo en el agua altera directa o indirectamente el metabolismo de los peces y otros organismos acuáticos.

La contaminación de mares, ríos, lagos y pozos se ha incrementando a la par del desarrollo industrial, que durante años ha descargado sus desechos en los sistemas acuáticos. Por ejemplo, las muestras obtenidas con un año de diferencia en un mismo sitio del Río Mississippi, mostraron valores 30 veces mayores en la segunda toma (Durum, 1983), lo que significa que en un año la concentración aumentó considerablemente. En la Tabla 5 se muestra la descarga mundial de cromo en los ecosistemas acuáticos

<i>Tabla 5. Descarga mundial de cromo en ecosistemas acuáticos (Nriagu 1990, Nriagu and Pacyna 1988)</i>	
Proceso de manufactura (metales, productos químicos, papel y derivados de petróleo)	51*
Aguas servidas domiciliarias	46*
Vertidos cloacales	19*
Extracción y fundición de metales comunes	12*
Precipitaciones atmosféricas radioactivas	9.1*
Centrales de generación eléctrica	5.7*
TOTAL	142.8*

* Emisiones (miles de toneladas / año)

Comparando los datos de las Tablas 4 y 5 se observa que la descarga es mucho mayor en suelos que en los sistemas acuáticos. Esto se explica con la baja solubilidad de los compuestos que forma el cromo. A pesar de estar en menor cantidad disuelto, sus efectos en los sistemas acuáticos son graves. Algunas investigaciones que muestran el efecto del cromo sobre algunos organismos acuáticos indican que:

1. en truchas, el cromo 6+ introduce cambios en la sangre, tales como aumento de cortisol en el plasma (Fromm, 1995);
2. cuando se aplican concentraciones de cromo de 10 ppm a truchas y otros peces por 2 a 4 semanas decrece su actividad, así como la cantidad de alimento que ingieren (Fromm, 1995);
3. la contaminación resulta más grave si tomamos en cuenta que un animal será a su vez alimento de otros y así a través de la cadena alimenticia. Son muchos los estudios sobre la acumulación del cromo en las cadenas pelágicas (perteneciente a animales que viven en las aguas marinas por encima de los 800m de profundidad), neríticas (pertenecientes a moluscos) y bentónicas (plantas y animales que viven en el fondo

- marino). También se observó un efecto a través de su desarrollo; huevecillos, larvas y adultos. (Villalobos- Pietrini Rafael, 1983);
4. la mayor parte de los organismos que habitan en las aguas son microorganismos. Los efectos que tiene la contaminación de cromo deben tomarse en cuenta por la enorme participación que tienen en los equilibrios ecológicos de ríos, mares y lagos;
 5. cualquier tipo de microorganismo que se encuentre en presencia de cromo puede ser afectado en su metabolismo y en su desarrollo normal, tanto por el cromo hexavalente como por el trivalente, se trate de bacterias, algas, u hongos (éstos son los menos sensibles) (Villalobos- Pietrini Rafael, 1983);
 6. las algas, además de ser un elemento fundamental del plancton marino, intervienen en la formación de una parte importante del oxígeno atmosférico. El cromo hexavalente parece ser notablemente más tóxico que el trivalente para las algas marinas.

Dados los niveles de toxicidad, distintas instituciones se han dado a la tarea de establecer los niveles máximos permitidos de cromo en el agua, en suelos y en aire. La Tabla 6 muestra los niveles permitidos establecidos por instituciones encargadas de monitorear los niveles de contaminantes en el agua y suelo.

<i>Tabla 6. Pautas y niveles ambientales de cromo permisibles en agua, lodos y suelo</i>	
Institución	Límites
Calidad de las aguas superficiales destinadas a la extracción de aguas potables <i>Directiva del Consejo Europeo</i>	El agua que contenga más de 50 µg/L debe ser sometida al tratamiento físico y químico antes de ser utilizada.
Calidad del agua destinada al consumo humano <i>Directiva del Consejo de la Comunidad Europea, la OMS y la EPA (agencia de protección ambiental)</i>	Establecen una concentración máxima permisible de 50µg/L.
Calidad del agua destinada al consumo humano <i>Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994</i>	Cromo total permisible en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos, 50 µg/L.
Calidad de lodos cloacales <i>Comunidad Europea</i>	Las concentraciones aceptables de cromo varían entre los 200 y los 1,200 mg/kg.
Niveles en suelo <i>Departamento del Medio Ambiente del Reino Unido (ICRCL)</i>	Clasifica el nivel de 0-100 mg/kg como típico del medio no contaminado. Todo nivel que lo supere indica contaminación y, por lo tanto, determina restricciones con respecto a los usos agrícolas y recreativos (Alloway 1990).
Calidad del aire en el área de trabajo <i>La Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA)</i>	Ha establecido límites de 500 µg de compuestos de cromo +3 solubles, 500 µg/m ³ en el área de trabajo, 1000 µg/m ³ de cromo metálico (0), y 52 µg/m ³ de compuestos de cromo +6 durante jornadas de 8 horas diarias, 40 horas a la semana.

Con base en toda esta información se puede realizar un diagnóstico de la situación del cromo en cualquier lugar de interés y relacionarlo con las posibles fuentes de contaminación.

-El caso de Cromatos de México

En nuestro país se reporta un problema de contaminación por cromo. La población de Lechería, en el Estado de México, es la que se ve afectada desde hace varias décadas por la exposición continua a los residuos de cromo, generados por la empresa *Cromatos de México, S.A.*

Cromatos de México, S.A. es una compañía que se estableció en 1958 y que se dedicaba a producir compuestos de cromo en un proceso a cielo abierto. No se tenía control alguno sobre las emisiones de polvos ni las descargas de aguas residuales y tampoco contemplaba un adecuado manejo de los residuos tóxicos. Cuando los residuos de polvo fueron incontenibles para la empresa, se utilizaron para pavimentar las calles y las avenidas en diferentes colonias de Lechería. El caso más crítico fue el de la colonia Recursos Hidráulicos porque sus calles fueron emparejadas con el polvo amarillo por carecer de pavimento. De esta forma, la contaminación por cromo se diseminó por distintos lugares, afectando en mayor o menor medida a toda la región.

La alarma se activó en los habitantes de este lugar a causa de la muerte de algunos alumnos de la escuela federal "Reforma", que estaba situada cerca de la empresa *Cromatos de México, S.A.* La muerte se atribuyó a los desechos de cromo. A raíz de esta situación, la población exigió el cierre de esta empresa en 1975, logrando su clausura en 1978. Después de la clausura se inició la construcción de un cementerio industrial que inició sus operaciones en 1983. El cementerio estaba conformado por un depósito de concreto que tenía una capacidad de 30, 000 m³ aproximadamente y que estaba cubierto con una tapa de asfalto. En él se almacenaron 75, 000 toneladas de residuos de cromo, que antes se encontraban a cielo abierto. Parecía que con esto el problema estaba resuelto; sin embargo, la falta de mantenimiento del depósito provocó fugas. Esto genera desde hace varios años contaminación en el aire, el agua y el subsuelo de la zona, afectando con esto la salud de los habitantes de esta localidad. Esta situación volvió a levantar una serie de protestas de

la población para exigir el cumplimiento de los acuerdos establecidos con el entonces gobernador del Estado de México, Alfredo del Mazo. Debido a lo anterior, en mayo de 2002 se creó la *Mesa de Coordinación para la Restauración Ambiental del Cementerio Tóxico de Cromatos de México*, donde la dirección quedó a cargo de la mesa de coordinación, misma que concluyó la primera fase del proyecto de contención de la contaminación por cromo en Tultitlán. Tiempo después, el área de cromatos quedaría cercada totalmente, además de la instalación de una caseta de vigilancia. Actualmente se lleva a cabo la segunda fase en donde se pretende determinar a través de estudios técnicos las dimensiones de afectación al subsuelo y de los mantos acuíferos de la región, para detectar la posible contaminación de los pozos de agua potable. Además se analiza la factibilidad de crear un nuevo cementerio de cromatos, que podría estar reubicado en un sitio de confinamiento más seguro (Gaceta Parlamentaria, 2003).

El ejemplo de Cromatos de México indica lo grave que puede llegar a ser una situación de contaminación por cromo. De ahí la importancia de realizar este diagnóstico en este trabajo.

Hierro

- Características

Elemento químico del grupo VIII del sistema periódico. Su número atómico es 26, con una masa atómica de 55.847 una y estados de oxidación de +2 y +3

El hierro es un elemento esencial para la nutrición humana. Se encuentra en una serie de compuestos de importancia biológica, entre ellas la hemoglobina y también en muchas enzimas que participan en reacciones de oxido-reducción. La mayor parte de los alimentos, exceptuando la leche, lo contienen en cantidades suficientes como para que no exista déficit de este metal en la dieta; sin embargo, el hierro se absorbe con dificultad y la mayoría de los individuos apenas cubren sus necesidades diarias.

De todo el hierro ingerido, sólo se absorbe un 10% aproximadamente. Además la composición de la dieta condiciona su absorción. La presencia de los iones carbonato, fosfato y oxalato dificultan este proceso. Los alimentos en donde podemos encontrar el hierro son las espinacas, el cacao, los plátanos, la carne, los productos integrales, las papas, los vegetales, el café, el té y el ajonjolí. El cuerpo humano absorbe el hierro de los animales más rápido que el hierro de las plantas. El hierro es una parte esencial de la hemoglobina, el agente colorante rojo de la sangre que transporta el oxígeno a través de nuestro cuerpo.

Las necesidades de Fe varían según la edad, el sexo y el estado fisiológico del individuo. El organismo es capaz de regular la absorción de acuerdo con las necesidades. Se han establecido niveles entre 7 y 14 mg al día para un individuo adulto. Las mujeres gestantes necesitan además 15 mg diarios. La deficiencia de hierro da lugar a desórdenes musculares y disminución de la capacidad física al esfuerzo, anomalías en el comportamiento como apatía, somnolencia e irritabilidad, disminución del rendimiento intelectual, así como una incidencia más elevada de infecciones en niños.

El déficit de hierro puede provocar anemia, conjuntivitis, coriorretinitis y retinitis si contacta con los tejidos y permanece en ellos. La inhalación crónica de concentraciones excesivas de vapores o polvos de óxido de hierro puede resultar en el desarrollo de una neumoconiosis benigna, llamada sideriosis. Ningún daño físico de la función pulmonar se

ha asociado con la siderosis. La inhalación de concentraciones excesivas de óxido de hierro puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer de pulmón en trabajadores expuestos a carcinógenos pulmonares.

Las principales fuentes de Fe en la atmósfera provienen de las actividades industriales reportadas en la Tabla 7.

Industria del acero (el hierro es descarburado, con una porción de carbono inferior a 1.8%)
Industria automotriz
Tuberías y elementos estructurales
Maquinaria en general
Confeción de herramientas
Piezas navales, aeronáuticas, férreas
Elaboración de pintura

- Anemia biológica

El término "anemia" se refiere a la deficiencia del hierro no sólo en el cuerpo humano, sino también en el ambiente. Específicamente nosotros trataremos la deficiencia del hierro en el mar.

Se estima que en términos generales, una quinta parte de los océanos es rica en nutrientes y, sin embargo, carecen de fitoplancton. El fitoplancton es un conjunto microscópico de vegetales que se encuentra tanto en el mar como en el agua dulce y comprende bacterias, organismos y algas en forma de células aisladas o de pequeñas colonias. La densidad del fitoplancton marino se puede averiguar gracias a su pigmentación, ya que la clorofila absorbe la luz solar y el dióxido de carbono atmosférico, sintetizando así su alimento orgánico. La luz reflejada por la clorofila de las plantas microscópicas marinas permite que los detectores de algunos satélites puedan medirla con bastante exactitud. De esta forma puede medirse la concentración de fitoplancton de los océanos y mares, y relacionarse con la cantidad de dióxido de carbono absorbida por el fitoplancton. El fitoplancton crece durante la primavera en el Atlántico Norte. En la costa antártica,

florece sólo durante los seis meses de luz solar. En otras regiones marinas donde se dan circunstancias de luz y temperatura adecuadas, el fitoplancton no florece de la misma forma. A través de distintas investigaciones se llegó a la conclusión de que la falta de fitoplancton se debe a la ausencia de hierro, de aquí el nombre de *anemia biológica*. Para contrarrestar esta anemia, en investigaciones posteriores se agregó hierro al mar para observar las consecuencias. Aunque el hierro es muy poco soluble en el agua del mar y tiende agruparse en el fondo, más de la mitad del hierro que hay en el mar abierto procede del polvo de la atmósfera que ahí se deposita.

La idea de agregar hierro al mar se probó primero en proyectos a escala reducida con el propósito de aumentar la producción de fitoplancton. Como consecuencia directa del aumento de fitoplancton tendríamos la reducción del CO₂ atmosférico, que quedaría absorbido por el mismo fitoplancton.

El agregado de hierro podría ser especialmente útil en el Pacífico Sur, ya que en esta zona el agua de la superficie desciende rápidamente al fondo del océano debido a las corrientes marinas, arrastrando rápidamente con ella el CO₂ absorbido por el plancton. El florecimiento del plancton podría también enfriar la atmósfera. El plancton emite dimetil sulfuro (DMS), un gas que se oxida en la atmósfera para formar partículas de sulfato. Estas partículas directamente protegen del calor del Sol a la superficie de la Tierra e inducen la formación de nubes, lo que significaría también más lluvias.

El experimento, conocido con el nombre de SOFeX (Southern Ocean Iron Enrichment Experiments), consistió en esparcir hierro en tres áreas del océano, cada una de 60 km². Posteriormente se realizó un seguimiento a través de miles de kilómetros cuadrados de océano, al este de las islas Galápagos. De acuerdo con los resultados, por cada media tonelada de hierro se absorbieron cien toneladas de CO₂ y de acuerdo a lo observado el océano cambió de color azul a un verde oscuro. Los investigadores afirman que, de acuerdo a los resultados obtenidos en este primer experimento, en 100 años se podría reducir la cantidad de CO₂ de la atmósfera en 60 ppm. Hoy está en 360 partes por millón. En otras palabras, el descenso sería del 17% al 10% del aumento que se proyecta para el año 2100.

Con este experimento se observó que la fertilización de los océanos con hierro desencadena un masivo florecimiento del fitoplancton y una absorción del dióxido de carbono (ver la Figura 3), uno de los gases que provocan el efecto invernadero. Eso quiere decir que es posible contener el calentamiento global a través de la absorción de miles de millones de toneladas de carbono atmosférico cada año: por cada átomo de hierro añadido al agua, el fitoplancton absorbe entre 10,000 y 100,000 átomos de carbono a 100 metros de profundidad (Martín, Coale, et al. 1994).



Figura 3. Resultados del hierro agregado al mar

Si estos datos se extrapolaran a grandes regiones del océano austral, los resultados obtenidos en el experimento sugieren que una masiva fertilización con hierro en el mar podría contener el calentamiento global a través de la absorción de miles de millones de toneladas de carbono atmosférico cada año.

Estos estudios habían sugerido la idea de que, durante los últimos cuatro períodos glaciares, el océano austral contenía una gran cantidad de fitoplancton y recibía grandes cantidades de polvo rico en hierro. Se cree que ambos fenómenos contribuyeron positivamente al enfriamiento de la Tierra durante los períodos glaciares.

El SOFeX dejó claro que:

- el Fe puede ser un importante componente catalítico en una extensa variedad de sistemas enzimáticos y su carencia tiene el potencial de limitar la producción de fitoplancton en áreas de baja producción de clorofila;
- las concentraciones del hierro en las aguas de superficie del océano abierto existen en niveles picomolares ($10^{-12}M$). Estas concentraciones pueden ser insuficientes para sostener la alta biomasa del fitoplancton con tasas de crecimiento máximas;
- la adición del Fe a muestras no contaminadas de agua de mar se realizó para estimular el crecimiento de fitoplancton;

A pesar de toda la información que logró juntarse, muchos investigadores no quedaron convencidos de los beneficios de arrojar hierro al mar. La controversia dice que el experimento no fue concluyente porque no se controlaron todas las variables. La discusión continúa entre los expertos y además se analizan las consecuencias de tener al hierro en exceso.

□ Zonas de Muestreo

Como se mencionó anteriormente, las zonas costeras que se evaluaron son:

- Holbox (Quinta Roo, Mar Caribe)
- Puerto Morelos (Quintana Roo, Mar Caribe)
- La Mancha (Veracruz, Golfo de México)

Estas zonas fueron elegidas porque en todas ellas existe la presencia de *Thalassia testudinum* (Contreras, 1993). Además, Holbox y Puerto Morelos son lugares que forman parte de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de *Yum-Balam* y *Parque Nacional de la región Arrecife de Puerto Morelos*, respectivamente, por lo que no se efectúan actividades industriales que pudieran afectar fuertemente al ambiente, con lo cual inferimos que no se trata de sitios que tengan una concentración comparativamente alta de metales pesados. La laguna costera de La Mancha se encuentra ubicada en una de las desembocaduras que llegan al Golfo de México, que además se encuentra asociada con el *Río Grande* que constituye el principal efluente de agua dulce. En esta parte del Golfo de México las descargas domésticas e industriales pueden considerarse de importancia. Otra de las razones para seleccionar estos lugares es el tipo de suelo pues en el Caribe el suelo es carbonatado y en la costa del Golfo de México es de tipo terrígeno (Merino, 1989). Esto puede reflejarse en nuestros resultados.

Holbox

Se encuentra el noreste de la Península de Yucatán. La laguna Yalahau está localizada entre la comunidad de Chiquilá y la isla Holbox, entre los paralelos 21°12'60" y 21°13'60" latitud norte y los meridianos 87°10'80" y 87°12'90" longitud oeste, en el Golfo de México. El ecosistema adyacente a la laguna es un manglar. La laguna está parcialmente aislada del océano por una franja costera, conocida como isla Holbox (ver la Figura 4)

El área de la isla es de aproximadamente 80 km², de forma elíptica y paralela a la costa. Tiene una población de 1200 habitantes (INEGI, 2000) y la infraestructura existente en este lugar es limitada. A pesar de esto, el turismo en la isla es muy grande y tomó gran

importancia hace 10 años, lo que condujo a una acelerada construcción de edificios. La isla cuenta con un tiradero a cielo abierto que desemboca a la laguna, por lo que el aumento de esta urbanización puede tener un efecto dañino en la calidad de agua en el área.

La laguna Yalahau y la isla Holbox forman parte del Área de Protección de Flora y Fauna de Yum-Balam. Presenta ecosistemas con biodiversidad neotropical, que albergan especies endémicas, raras y en peligro de extinción, los cuales constituyen una extensión de los ecosistemas selváticos y humedales de la Reserva Especial de la Biósfera Río Lagartos, en el Estado de Yucatán. Los pantanos y humedales que la conforma, son hábitat de aves acuáticas, migratorias y residentes.

En el área se pueden observar selvas medianas, bajas y bajas inundables, extensas zonas de manglar chaparro y mangle rojo, esteros, grandes zonas inundables, lagunas y áreas marinas someras que limitan al Norte y al Sur, así como zonas de selva con influencia en la productividad de los ecosistemas estuarinos de la Reserva de la Biósfera Río Lagartos (Contreras, 1993).

Se han reportado diversas especies protegidas como las tortugas marinas caguama y carey, el manatí, el jaguar y el tiburón ballena (Contreras, 1993).

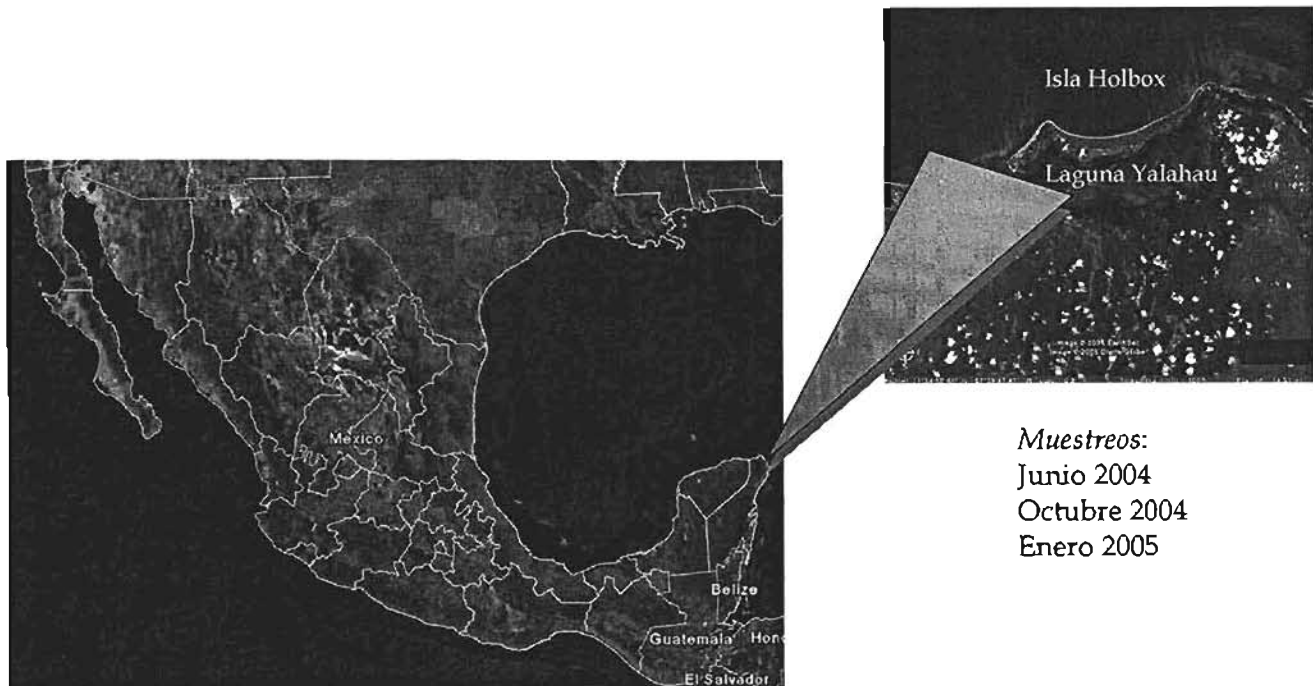


Figura 4. Ubicación geográfica de Holbox y los meses de muestreo.

Puerto Morelos

La región conocida como "Parque Nacional de Puerto Morelos" pertenece a la barrera arrecifal denominada "Gran Cinturón de Arrecifes del Atlántico Occidental" que forma parte del Sistema Arrecifal Mesoamericano, considerada como la segunda barrera arrecifal más grande del mundo. Así mismo, esta sección de la barrera, ubicada frente a Puerto Morelos, se extiende al norte hasta colindar con el Parque Nacional de Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc. El arrecife sustenta ricas comunidades biológicas que se encuentran bien conservadas y tienen valor ecológico, económico, recreativo, comercial, histórico, educativo, estético y para investigación, lo que confiere al área una importancia singular en el contexto nacional. Adicionalmente, la economía del poblado de Puerto Morelos y su área de influencia dependen de su conservación, ya que un alto porcentaje de la población se dedica a la pesca, al turismo y a la investigación sobre el ambiente marino, las cuales están estrechamente influidas por la salud del ecosistema.

El poblado de Puerto Morelos se localiza en los 20°50'50.5" latitud norte y 86°52'30.6" longitud oeste, a 35 km al sur de Cancún y 34 km al norte de Playa del Carmen sobre la costa (ver Figura 5).

El clima en la región es el mismo que el de Holbox. En términos del número y composición de especies, los arrecifes incluidos dentro del Parque Nacional son tan ricos como los de cualquier otro sistema arrecifal de la región biogeográfica del Caribe. A la fecha existen registros y observaciones de 669 especies de fauna marina, tanto invertebrados como vertebrados, pertenecientes a 75 órdenes ó subespecies. En cuanto a la vegetación marina, se han registrado tres especies de pastos marinos, 264 especies de algas y 7 especies de dinoflagelados simbioses. Las listas distan de estar completas y seguramente el número de especies aumentará conforme se realicen más estudios en el área. Algunas de las especies registradas dentro del Parque Nacional están consideradas bajo algún estatus de protección, como es el caso de los corales cuerno de alce y cuerno de ciervo y de las tortugas marinas.

Puerto Morelos es la comunidad más antigua del Caribe Mexicano y durante su fundación sirvió para la extracción y exportación de la goma de árbol de chicle y la madera del árbol de tinte. Cuenta además con ecosistemas de manglar, duna y selva.

Actualmente, la delegación Puerto Morelos cuenta con tres comunidades: Central Vallarta, Joaquín Zetina Gasca y Puerto Morelos, que en conjunto tienen una población no mayor a 5000 habitantes (Contreras, 1993).

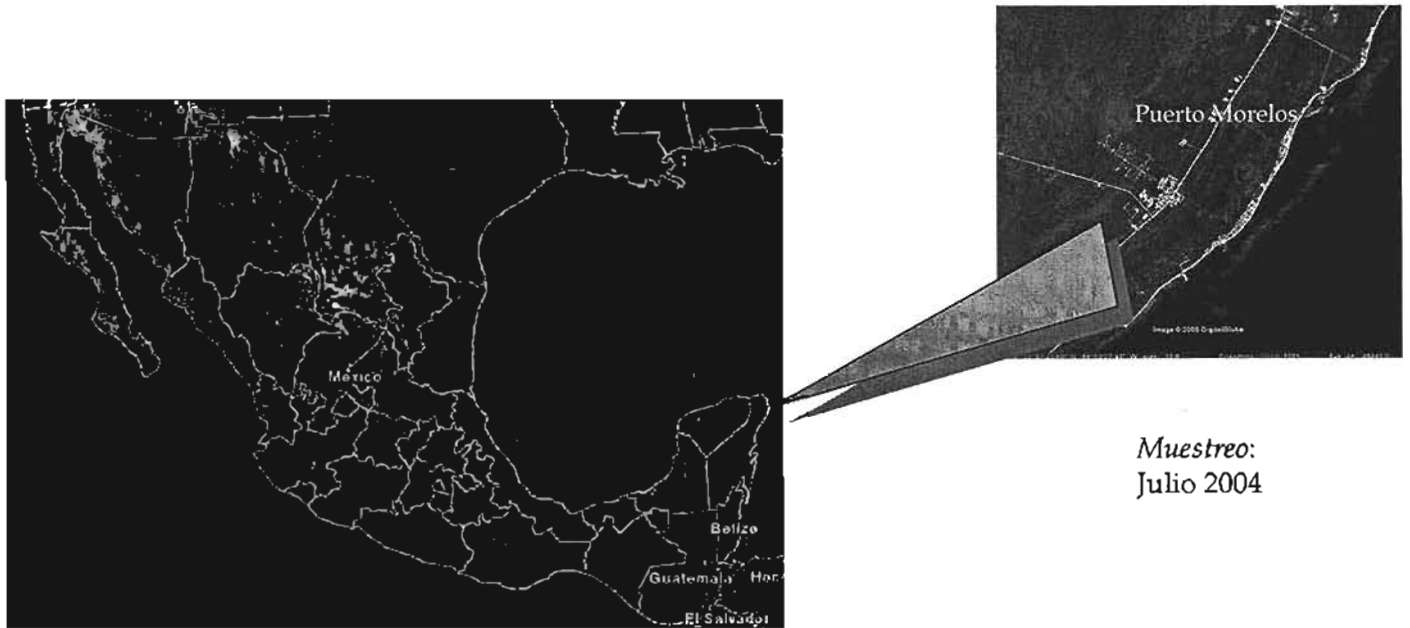


Figura 5. Ubicación geográfica de Puerto Morelos y los meses de muestreo.

La Mancha

El Estado de Veracruz comprende una superficie de 72,815 km², equivalente al 3.7 % del territorio nacional y 116, 600 ha de superficie estuarina lagunar.

La laguna de La Mancha se sitúa en el litoral del Golfo de México, hacia la parte central del estado de Veracruz, en las coordenadas 19°34' y 19°42' de latitud norte y a los 96°27' de longitud oeste; se halla a 30 km al noreste de la ciudad José Cardel, en el municipio de Actopan (ver Figura 6). Es de forma irregular y cubre una superficie de aproximadamente 25 km², con cerca de 3 km de longitud. Está integrada por dos cuerpos de agua unidos por un canal estrecho y separada del Golfo de México por una gran barra arenosa, denominada "barra de la Mancha", en cuya porción noreste comunica al Golfo mediante una boca de flujo intermitente. Los aportes de agua dulce provienen de escurrimientos continentales estacionales (Contreras, 1993), a los que contribuye el flujo semipermanente de un pequeño río conocido como "Río Grande", ubicado en la porción suroeste del sistema. La vegetación circundante es predominantemente agregada a selva baja subperennifolia, selva baja caducifolia, vegetación de dunas costeras y asociaciones de algas marinas macroscópicas. Alcanza una temperatura de entre 21.5- 29 °C, una salinidad de entre 11.5- 23.8 ‰, posee oxígeno disuelto con valores entre 1.20 - 5.50 mL/g (Contreras, 1993).

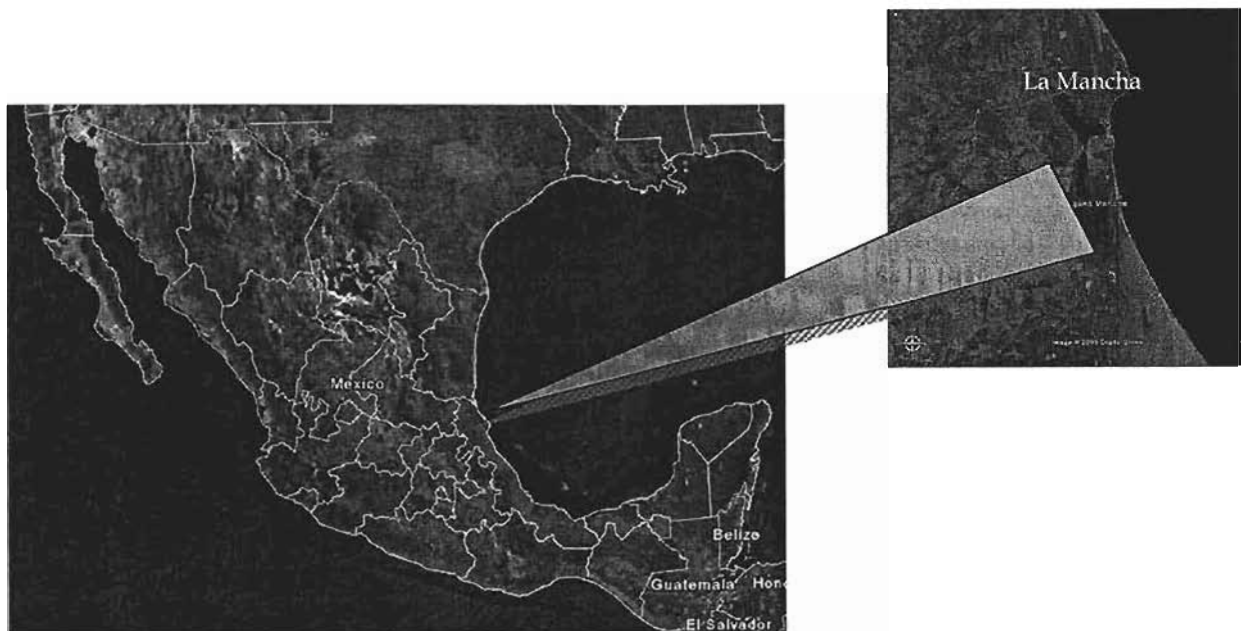


Figura 6. Ubicación geográfica de La Mancha y los meses de muestreo.

La Laguna de la Mancha es una zona cuya producción primaria fitoplanctónica varía tanto espacial como temporalmente; los valores máximos suceden durante las épocas de lluvias y nortes, particularmente en la zona cercana a la boca de intercomunicación con el mar. El cierre de la barra que impide la entrada de aguas costeras determina bajas importantes de producción primaria. Cerca de la barra, PEMEX tendió un gasoducto, el cual ha provocado el azolve de la laguna y el ensanchamiento de la barra. En el borde occidental se ubica la vía del ferrocarril que va de Veracruz a Tampico; con ello se incrementó la sedimentación, que actualmente es importante.

Las principales actividades productivas de Veracruz son la agricultura, la ganadería, la industria metálica básica, los alimentos y las bebidas (basadas en el café y la vainilla), el tabaco, la petroquímica básica y la electricidad.

Cerca de la Laguna de La Mancha no hay algún tipo de industria que desemboque en el Río Grande, el principal efluente de agua a la laguna.

ANTECEDENTES

Existen pocos estudios en relación a metales pesados en el pasto marino *Thalassia testudinum*. Algunos de los estudios que se presentarán enseguida provienen de otros pastos marinos encontrados en otras zonas costeras del mundo.

Los datos que se presentan a continuación (Tabla 8) son niveles reportados por diversos autores. Whelan (2004) determina la concentración de hierro en *Thalassia testudinum* de Laguna Madre y lo hace en dos estaciones diferentes, una en verano y la otra en invierno. En la primera se observa temporada de lluvias y una mayor concentración respecto a la determinada en invierno, que es temporada de secas. Nicolaidou y Nott (1998) determinaron la concentración en el este de la costa de Grecia en el pasto marino *Cymodocea nodosa*, reportando una mayor concentración en raíces que en hojas, tanto en cromo como en hierro. Además los niveles de hierro que reporta son muy altos. Prange y Denison (2000) determinaron la concentración de metales en el pasto marino *Zostera capricorni* de zonas urbanas e industriales de Queensland en Australia, por lo que en sus muestras parece haber un exceso de cromo y hierro. Si nuestros resultados estuvieran en el mismo nivel de concentración podríamos hablar de un problema de contaminación en alguna de nuestras zonas de estudio. Las muestras de Guven (1993) pertenecen a Turquía y fueron analizadas en el pasto marino *Zostera marina*. Merino (1995) reporta lo encontrado en *Thalassia testudinum* en el área de Puerto Morelos y el Golfo de México y además encuentra una influencia por el tipo de suelo, concluyendo que en Golfo de México la concentración de hierro es mayor a la del Caribe, por lo que será una buena referencia para nuestros resultados. Botello (1983) estudia el pasto marino *Thalassia testudinum* en el área del Caribe. Si comparamos las concentraciones encontradas en el Caribe por Botello (1983) y Merino (1995) podemos apreciar que son de la misma magnitud. Montgomery y Price (1979) sólo reportan la concentración de cromo en hojas del área de Newport. Este dato es el único encontrado para cromo en *Thalassia testudinum*.

Se usan los resultados en diversos pastos marinos porque además de no contar con más información para la *Thalassia testudinum*, se trata de pastos marinos con características similares.

Tabla 8. Datos reportados de concentraciones de Fe y Cr

Autor	Área de estudio	Cr (ppm)		Fe (ppm)		Especie
		hojas	raíces y rizomas	hojas	raíces y rizomas	
Whelan Thomas, 2004	Laguna Madre Verano, 2002 Invierno, 2002	---	---	287-77 169-49	418-84 113-38	<i>Thalassia testudinum</i>
Nicolaidou A. Y Nott J, 1998	Este de la costa de Grecia, 1995	4.8 -1.4	10.5 -8.7	2870 -788	3832- 2071	<i>Cymodocea nodosa</i>
Prange, J.A. y W.C. Denison, 2000	Queensland, Australia Julio, 1998 Septiembre, 1998 Enero, 1999	6.1 30.6 5	4.7 29.7 12.8	2089 7592 2979	9160 17889 1829	<i>Zostera caprioni</i>
Guven <i>et. al.</i> 1993	Turquía	13.6	---	---	---	<i>Zostera marina</i>
Merino, 1995	Puerto Morelos, 1994 Golfo de México, 1994	---	---	62.5-80.6 71-533	---	<i>Thalassia testudinum</i>
Botello y Villanueva, 1983	Laguna Bojorquez, 1982 Puerto Morelos, 1982	---	---	12.5-57.3 51.7	77.8-43.2 129.1	<i>Thalassia testudinum</i>
Montgomery y Price	Río Newport, 1979	4.0	---	---	---	<i>Thalassia testudinum</i>

Nota: no se encontraron más datos reportados de cromo en *Thalassia testudinum*.

HIPÓTESIS

- I. Si encontramos una mayor concentración de metales pesados en el Golfo de México que en el Caribe, entonces puede ser que exista una influencia debida al tipo de suelo y a las descargas domésticas e industriales.

- II. Si las concentraciones de Fe y Cr son altas, entonces se buscarán factores puntuales como la influencia de basureros y los efectos del turismo.

- III. Si encontramos que la concentración del cromo aumenta durante la época de lluvias, entonces podremos asociarla con el efecto de las escurrentias que arrastran contaminantes de zonas como el basurero.

- IV. El hierro es un micronutriente, por lo que la concentración y la distribución de este metal en los pastos marinos podría depender de su estado de salud y no necesariamente indicar un problema de contaminación.

OBJETIVOS

- **Objetivos Generales:**

- Analizar y cuantificar la presencia de Fe y Cr en dos zonas costeras de la República Mexicana (Golfo de México y Mar Caribe), para después comparar los resultados con los reportados previamente.
- En caso de encontrar altas concentraciones de estos metales pesados en algún lugar, tratar de localizar las posibles fuentes.

- **Objetivos Particulares:**

- Determinar las concentraciones de hierro y cromo en Holbox, Puerto Morelos y la Mancha para poder decir cuál es la que presenta un nivel más alto.
- Una vez determinadas las concentraciones de cromo y hierro en las tres zonas de estudio, compararlas con datos reportados para saber si se rebasan.
- De ser el caso, buscar las posibles fuentes de contaminación y proponer algunas soluciones

METODOLOGÍA

- *Zonas de muestreo:*

Para este proyecto se realizó la evaluación de Fe y Cr en tres zonas costeras de la República Mexicana:

- Holbox (Quintana Roo, Mar Caribe)
- Puerto Morelos (Quintana Roo, Mar Caribe)
- La Mancha (Veracruz, Golfo de México)

- *Recolección de muestras:*

Holbox

La colecta de las muestras se llevó a cabo durante tres muestreos en Holbox, comprendidos en los meses de julio y octubre del 2004, y enero del 2005.

El muestreo se hizo en ocho sitios de la Laguna Yalahau (ver Figura 7).

En julio y octubre sólo se tomaron muestras de los sitios 2, 4 y 7; mientras que en enero se muestrearon los ocho sitios. El sitio 2 está situado a la salida del basurero de la localidad de Holbox. Lamentablemente, la bolsa que contenía las muestras de este lugar del mes de octubre se extravió en el laboratorio.

En la Tabla 9 se presenta la localización de los sitios de muestreo realizada con un geoposicionador satelital (GPS). Estas coordenadas son indispensables para asegurar que los muestreos son en el mismo lugar.



Figura 7. Foto aérea de la Isla Holbox, con los ocho sitios georeferenciados

<i>Tabla 9. Localización y nombre común de los ocho sitios en Holbox.</i>			
Sitio	Nombre	Localización	Profundidad (m)
1	Isla Pasión	N 21°30.997' W 87°23.880'	2.5
2	Basurero	N 21°30.255' W 87°23.525'	1.8
3	Boya Recalada	N 21°29.890' W 87°22.208'	1.2
4	Isla Pájaros	N 21°31.044' W 87°19.248'	1.4
5	Punta Catalán	N 21°60.427' W 87°17.576'	0.5
6	En medio de la laguna	N 21°29.291' W 87°15.776'	1.1
7	Yalikin	N 21°26.351' W 87°11.174'	1.2
8	Río Bomba	N 21°25.847' W 87°13.742'	Somera

Puerto Morelos

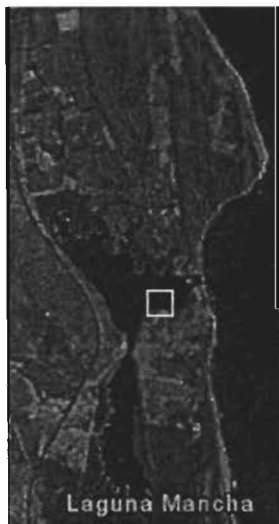
Se llevó a cabo un muestreo en el mes de julio del 2004*. Se recolectaron muestras a lo largo de la playa a profundidades no mayores de 2 m. En este caso se tomaron cuatro muestras en diferentes puntos de la playa cercana a la comunidad. El primer sitio localizado frente al Faro, el segundo en el primer muelle (aproximadamente a 70 m del Faro), el tercero en el muelle llamado Pasión y la última muestra fue tomada a 100 m de la intersección de la calle principal con la playa. En la Figura 8 se muestra una imagen satelital de Puerto Morelos



De estos cuatro sitios sólo se realizó el análisis para los sitios 1 y 4 y se obtuvo el valor promedio. Ese es el dato con el que trabajaremos más adelante.

Figura 8. Localización del sitio de muestreo en Puerto Morelos.

La Mancha



Se llevó a cabo un muestreo, realizado en julio del 2004. En la Figura 9 se observa la localización del sitio de muestreo.

El cuadro (■) indica el lugar donde se realizaron los muestreos. El sitio de muestreo era de una profundidad no mayor a 1.20 m. Debido a la dificultad del lugar (muy fangoso) sólo se pudieron coleccionar las hojas y no las raíces y rizomas.

Figura 9. Localización del sitio de muestreo en La Mancha.

* No se contó con un equipo GPS para georeferenciar los sitios de muestreo.

Todas las muestras fueron recolectadas del sustrato manualmente, tomando alrededor de 50 g. Sólo se seleccionaron las de apariencia saludable y con poco material adherido a la planta. Las epifitas calcáreas se retiraron manualmente. En cada sitio nos aseguramos de tomar las plantas separadas por lo menos 10 metros una de otra y las colocamos en una bolsa debidamente marcada con el sitio del cual provenían. Esto limita los cálculos de las medidas de dispersión, pero asegura la independencia y aleatoriedad de las muestras, con lo que podemos considerar que son representativas.

Una vez tomadas las muestras, se lavaron con agua del medio separando las hojas de las raíces y rizomas y se colocaron en bolsas de polietileno debidamente marcadas.

Todas las muestras se secaron bajo los rayos del sol, para quitar el exceso de humedad, y se trasladaron secas al laboratorio para su análisis.

- *Preparación de muestras:*

1. Una vez que las muestras estuvieron en el laboratorio, se separaron las hojas de las raíces y rizomas. * El análisis se hizo de las hojas por un lado, de las raíces y los rizomas por el otro.
2. En el laboratorio se pusieron las muestras a secar por completo, en una estufa a aproximadamente 50 °C
3. Se pesaron hasta que se tuvo peso constante (0.50 g).

- *Análisis de muestras :*

Se utilizó la técnica de absorción atómica, que se explicará con detalle en el Apéndice I. Algunas muestras se trataron con una digestión ácida y se determinó su concentración por espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito. Esto se realizó en la Facultad de Química de la UNAM, con la colaboración de la Dra. Liliana Saldivar.

* Se separaron en hojas y rizomas porque la concentración que se capta en hojas y raíces es diferente.

RESULTADOS

Para el análisis de los resultados primero se utiliza el promedio global de cada lugar de muestreo. En este estudio global se comparan los muestreos realizados en Holbox, Puerto Morelos y La Mancha, por medio del promedio que contempla todos los sitios en cada estación de muestreo. Para obtener el promedio general se utilizan las muestras de todos los sitios. De esta forma, para Holbox se compara el promedio de la concentración obtenida en los sitios 2, 4 y 7 de julio, con los dos sitios de muestreo de octubre y las ocho muestras promediadas de enero del 2005. Para Puerto Morelos se promediaron las muestras de los dos sitios y todo se comparó con los resultados de La Mancha. Con este análisis se puede concluir cuál de los tres lugares de estudio es el que presenta los niveles más altos de cromo y hierro.

Después del análisis global, realizamos un estudio del comportamiento de los sitios en Holbox y la influencia de las lluvias. Para poder analizar la influencia de las lluvias y el efecto en las escurrientias hicimos un estudio comparativo de los resultados particulares de cada sitio de muestreo. Con ésto observamos la posible influencia del basurero que se encuentra en el sitio 2. Finalmente se estudió el comportamiento del cromo y el hierro en toda la laguna, para lo cual analizamos los ocho sitios de Holbox de enero del 2005, que luego comparamos con los obtenidos en La Mancha y Puerto Morelos.

Con este estudio se tendrá un diagnóstico de la situación actual de contaminantes por metales pesados en tres zonas costeras diferentes. Se pretende contribuir a la formulación de una metodología sistemática que pueda llevarse a cabo de manera periódica.

Después de cuantificar la presencia de cromo y hierro se compararon los resultados con los reportados previamente. Este estudio comparativo ayudó a localizar las posibles fuentes contaminantes de cada región. El objetivo principal es diagnosticar la situación ambiental y establecer las posibles causas que provocan los distintos escenarios.

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

En la Tabla 10 se muestran las concentraciones del estándar de cada metal y las absorbancias obtenidas en cada caso, con las cuales se obtuvieron las curvas de calibración. Al final de la Tabla se reportan los coeficientes de correlación, que son aceptables en ambos casos. Como se puede observar, se tiene un alto porcentaje de recuperación, con lo cual se establece que las mediciones son confiables.

Tabla 10. Curva de calibración usada para la determinación de las muestras problema en Absorción Atómica.

Fe (mg L ⁻¹)	Abs	Cr (µg L ⁻¹)	Abs
1	0.038	3	0.057
2	0.073	6	0.111
3	0.103	9	0.171
4	0.133	12	0.237
5	0.162	15	0.299
r = 0.99935		18	0.348
		r = 0.99925	

En la Tabla 11 se presentan los datos obtenidos por absorción atómica. Los resultados en cada sitio corresponden al promedio de las tres réplicas utilizadas. El promedio de cada sitio se utilizó para calcular el promedio global de cromo y hierro, en hojas, raíces y rizomas, de cada muestreo. El promedio global se muestra sombreado en la Tabla 11.

Tabla 11. Concentración promedio de Cr y Fe en Holbox, Puerto Morelos y La Mancha (µg/g de peso seco)

HOLBOX JULIO 2004 HOJAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
2	2.07	1.71
4	1.68	1.47
7	0.37	0.29
1.60		

HOLBOX JULIO 2004 HOJAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
2	66.67	11.55
4	66.67	5.77
7	45	7.07
59.44		

HOLBOX OCTUBRE 2004 HOJAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
4	3.21	0.62
7	4.88	1.73
4.05		

HOLBOX OCTUBRE 2004 HOJAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
4	147.03	40
7	154.83	19.1
150.93		

HOLBOX ENERO 2005 HOJAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
1	0.44	0.04
2	0.53	0.21
3	0.35	0.02
4	0.4	0.06
5	0.71	0.08
6	0.7	0.03
7	0.87	0
8	0.62	0.16
0.58		

HOLBOX ENERO 2005 HOJAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
1	113.4	6.86
2	105.98	19.4
3	114.07	21.97
4	100.53	11.52
5	394.7	82.29
6	496.6	63.59
7	126.43	8.14
8	140.17	1.8
198.99		

HOLBOX JULIO 2004 RAÍCES Y RIZOMAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
2	2.15	0.32
4	0.81	0.09
7	0.18	0.05
1.05		

HOLBOX JULIO 2004 RAÍCES Y RIZOMAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
2	70	10
4	123.33	11.55
7	46.67	5.77
80.00		

HOLBOX OCTUBRE 2004 RAÍCES Y RIZOMAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
4	1.88	0.25
7	0.75	0.05
1.32		

HOLBOX OCTUBRE 2004 RAÍCES Y RIZOMAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
4	123.9	8.02
7	166.77	19.14
145.34		

HOLBOX ENERO 2005 RAÍCES Y RIZOMAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
1	1.08	0.21
2	0.65	0.36
3	0.67	0.03
4	1.07	0.45
5	0.5	0.06
6	0.18	0.18
7	0.51	0.11
8	0.43	0.07
0.64		

HOLBOX ENERO 2005 RAÍCES Y RIZOMAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
1	152.17	13.52
2	121.92	10.4
3	98.8	10.47
4	186.17	24.71
5	547.57	108.83
6	162.37	0.55
7	461.03	62.05
8	120.7	17.67
231.34		

PUERTO MORELOS JULIO 2004 HOJAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
1	0.15	0
4	0.39	0.04
0.27		

PUERTO MORELOS JULIO 2004 HOJAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
1	40	14.14
4	55	21.21
47.50		

PUERTO MORELOS JULIO 2004 RAÍCES Y RIZOMAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
1	0.13	0.04
4	1.04	0.22
0.59		

PUERTO MORELOS JULIO 2004 RAÍCES Y RIZOMAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
1	20	0 \wedge
4	20	0 \wedge
20.00		

LA MANCHA JULIO 2004 HOJAS (CROMO)		
Sitios	Promedio	σ
1	10.63	1.7

LA MANCHA JULIO 2004 HOJAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ
1	1846.67	170.98

σ : Desviación estándar

\wedge : La desviación estándar es cero porque en las tres replicas (realizadas para este sitio) el resultado de concentración es el mismo.

NOTA: No hay resultados de raíces y rizomas en La Mancha porque la mancha de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) era muy chica y resultó imposible obtener las raíces y rizomas.

En la Tabla 12 se presenta el promedio general de los tres sitios de interés para esta tesis:

HOJAS	CROMO			HIERRO		
	máx.	promedio	min.	máx.	promedio	min.
Holbox julio 2004	2.69	1.60	0.37	66.67	59.44	45
Holbox octubre 2004	4.88	4.05	3.21	154.83	150.93	147.03
Holbox enero 2005	0.87	0.58	0.35	496.6	198.99	100.53
Puerto Morelos Julio 2004	0.39	0.27	0.15	55	47.50	40
La Mancha julio 2004	-	10.63	-	-	1846.67	-
RAICES Y RIZOMAS	CROMO			HIERRO		
	máx.	promedio	min.	máx.	promedio	min.
Holbox julio 2004	2.15	1.05	0.18	123.33	80.00	46.67
Holbox octubre 2004	1.88	1.32	0.75	166.77	145.34	19.14
Holbox enero 2005	1.08	0.64	0.43	547.57	231.34	98.00
Puerto Morelos Julio 2004	1.04	0.59	0.13	*	20.00	*
La Mancha julio 2004		⊗			⊗	

⊗ Valor no disponible debido a que en este sitio la mancha de pasto marino (*Thalassia testudinum*) es muy chica y fue imposible obtener las raíces y rizomas.

* Los valores de las replicas fueron 20 en todos los casos, por eso no se pusieron en la Tabla los valores máximos y mínimos.

Los estudios de contaminación por metales pesados en zonas costeras muestran que, en general, durante la época de lluvias la concentración de contaminantes aumenta debido a un crecimiento en las escurrerías. El agua que fluye hacia el mar arrastra metales y contaminantes a su paso.

Con el fin de asignar un comportamiento estacional a los muestreos realizados en este estudio, contamos con los datos reportados por el Servicio de Hidrografía y Meteorología de la Unidad Académica de Puerto Morelos (SAHMUAPM) del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL), UNAM - CARICOMP (Renteria, 2005) los cuales indican que durante el mes de junio se reportó mucha precipitación (más de 300 mm), en julio se reportó poca precipitación (10 mm), mientras que para el mes de octubre se reportó una precipitación media de 180 mm, todo reportado para la zona de Puerto Morelos. Lo anterior puede observarse en la Figura 10. Esta zona suponemos que tiene la misma tendencia que en Holbox y parecida a la zona de La Mancha.

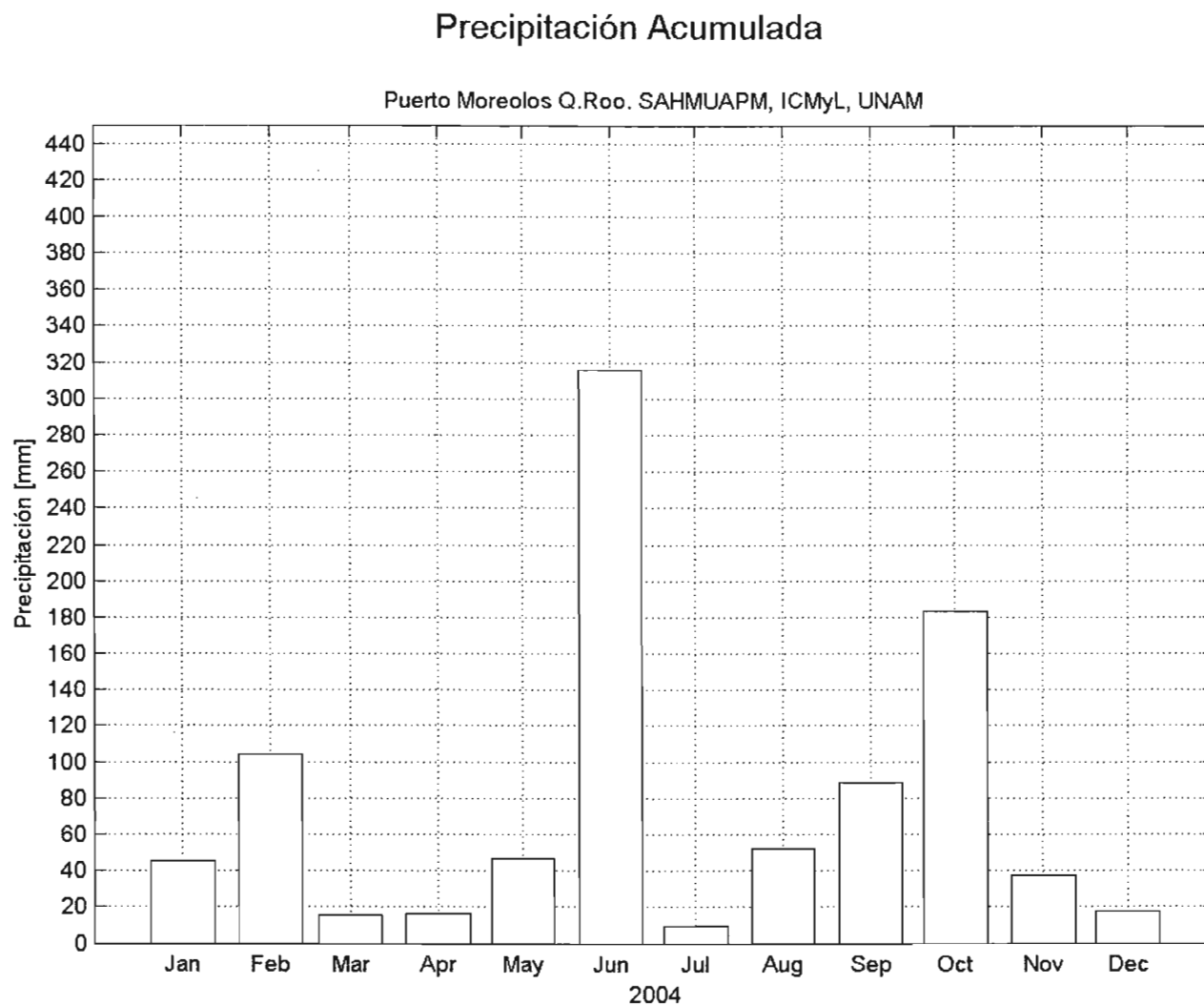


Figura 10. Precipitación Acumulada en el año 2004 para la localidad de Puerto Morelos.

Con la información anterior y con nuestros resultados se pudo ver el efecto de las escurrentías, ya que las concentraciones de algunos metales aumentan con las lluvias. El muestreo de julio se identifica como un periodo de lluvias seguido por uno de secas. El muestreo de octubre también es de lluvias y el de enero es un muestreo en época de sequía.

DISCUSIÓN

Para la discusión de los resultados analizamos cada metal de manera independiente. Como se indicó previamente, primero presentamos un análisis global para después puntualizar el estudio en cada sitio de muestreo.

CROMO

a) Estudio general

A continuación se presenta la comparación de todos los muestreos realizados en Holbox, Puerto Morelos y La Mancha por medio de un promedio global, para saber cuál de los tres lugares de estudio es el que presenta los niveles más altos de cromo.

En la Tabla 13 se muestran los resultados y en la Figura 11 se graficaron los valores. Con la gráfica se logra una mejor apreciación del comportamiento del cromo en estos lugares.

Lo que podemos observar de los datos de la Tabla 13 y la Figura 11 es:

- al comparar las muestras de julio se observa que en Holbox se presenta una mayor concentración de cromo que en Puerto Morelos;
- la concentración de La Mancha en hojas es mucho más alta que en todos los demás sitios. Esto se puede atribuir a varios factores, uno de ellos la influencia de algún tipo de contaminación antropogénica. En este lugar sólo se realizó un muestreo por lo que se debe seguir con un estudio más completo que contemple diferentes muestreos a lo largo del año;
- de los tres muestreos en Holbox, el que presenta las concentraciones más altas es el de octubre del 2004 (temporada de lluvias) y el más pequeño es el de enero del 2005 (temporada de secas).

Tabla 13. Concentración promedio del cromo en todos los sitios disponibles ($\mu\text{g/g}$ de peso seco)

	HOJAS			RAÍCES Y RIZOMAS		
	máx.	promedio	mín.	máx.	promedio	mín.
Holbox julio 2004	2.69	1.6	0.21	2.15	1.1	0.18
Holbox octubre 2004	4.88	4.1	3.21	1.88	1.3	0.75
Holbox enero 2005	0.87	0.6	0.35	1.08	0.6	0.43
Puerto Morelos julio 2004	0.39	0.3	0.15	1.04	0.6	0.13
La Mancha julio 2004	-	10.6	-		*	

*Valor no disponible debido a que en este sitio la mancha de pasto marino (*Thalassia testudinum*) es muy chica y fue imposible obtener las raíces y rizomas.

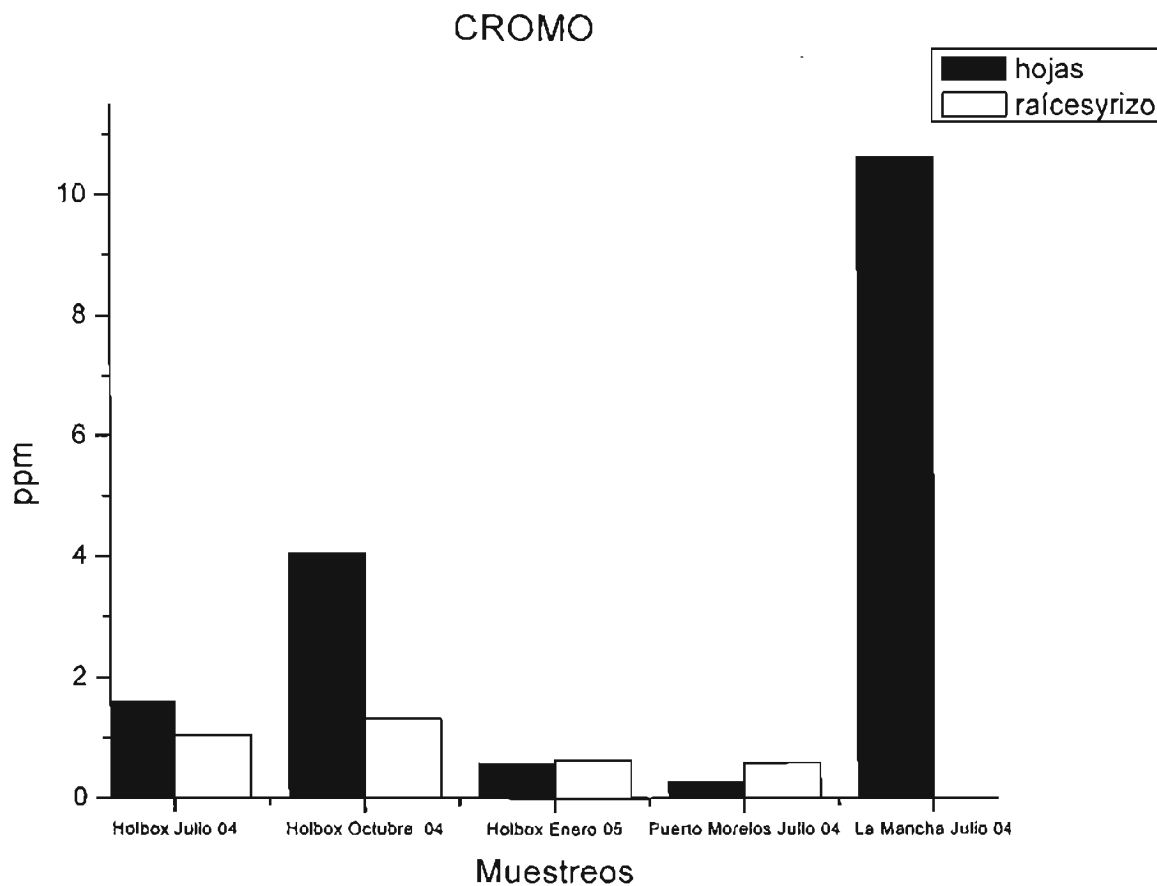


Figura 11. Concentración promedio de cromo en los diferentes lugares para los diferentes muestreos

Enseguida se muestra la comparación de los datos reportados por otros autores con nuestros resultados, para ver si se rebasan las concentraciones reportadas. Los datos se presentan en la Tabla 14 y se graficarán en la Figura 12.

Tabla 14. Concentración de Cr reportada previamente y las de este estudio (ug/g de peso seco)

Autor	Área de estudio	CROMO		Especie
		hojas	raíces y rizo	
Nicolaidou A. y Nott J, 1998†	Este de la costa de Grecia, 1995	3.1	9.6	<i>Cymodocea nodosa</i>
Prange, J.A. y W.C. Denison, 2000 Australia	Julio, 1998	6.1	4.7	<i>Zostera capricorni</i>
	Septiembre, 1998	30.6	29.7	
	Enero, 1999	5	12.8	
Güven <i>et. al.</i> 1993	Turquía	13.6	---	<i>Zostera marina</i>
Montgomery y Price	Newport, 1979	4.0	---	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Holbox julio, 2004	1.60	1.05	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Holbox octubre, 2004	4.05	1.32	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Holbox enero, 2005	0.58	0.64	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Puerto Morelos julio, 2004	0.27	0.59	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	La Mancha julio, 2004	10.63	---	<i>Thalassia testudinum</i>

CROMO

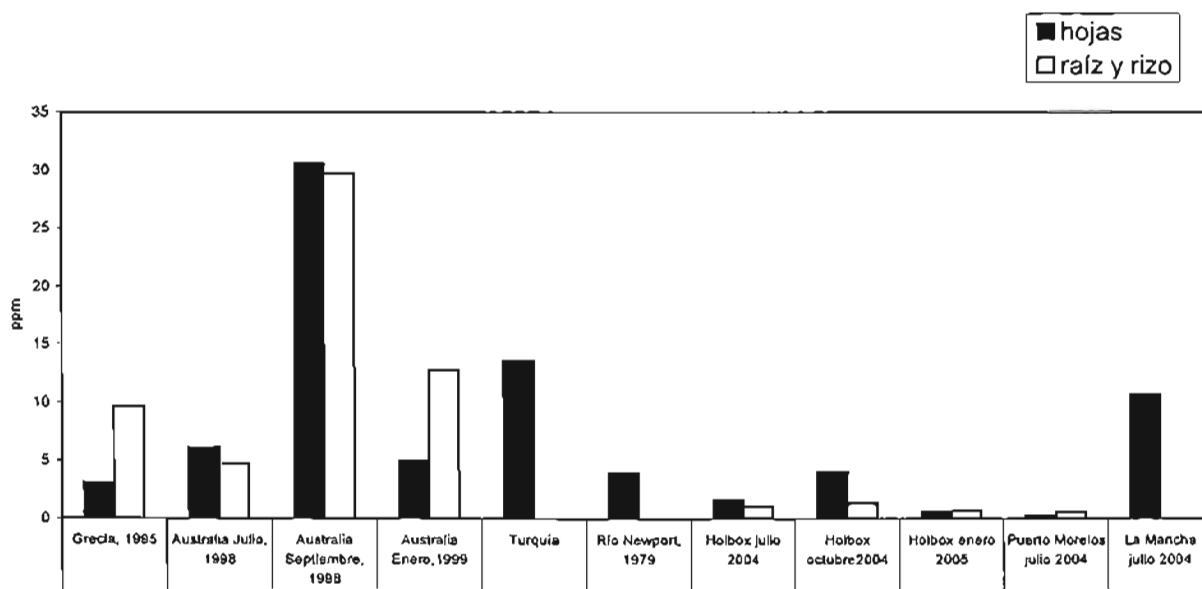


Figura 12. Comparación de la concentración de cromo encontrada en este estudio con otros resultados reportados previamente.

† Para poder hacer la comparación con otros datos reportados y con nuestros resultados se sacó el promedio de los intervalos de la concentración en hojas y raíces que se encuentran reportados en la Tabla 8.

Lo que observamos de la Figura 12 y la Tabla 14 es:

- en general nuestros resultados de Puerto Morelos y Holbox se encuentran entre los más bajos. Se observa que los valores reportados por otros autores son más altos que los obtenidos por nosotros, tanto en hojas como en raíces y rizomas. La muestra de octubre en Holbox es la excepción;
- en La Mancha los niveles de concentración en hojas fueron los más altos de nuestro estudio. Los valores de la Mancha son mayores a los reportados en Grecia y en Australia (julio y enero); y comparables con los reportados en Turquía. Con estos resultados se puede pensar que hay influencia atopogénica en la zona de La Mancha;
- las muestras en Australia corresponden a una zona industrial y urbana, por lo que parece natural que las cantidades en los sitios de nuestro estudio se encuentren por debajo de esos valores; sin embargo, la concentración de cromo encontrada en La Mancha, rebasa ciertos datos de Australia y Grecia;
- la concentración en Holbox del muestreo de octubre en hojas, es igual a la encontrada en Newport y además rebasa los niveles encontrados en Grecia;
- como nuestros datos de concentración en Holbox y Puerto Morelos son menores a todos los reportados en la zona industrial de Australia, podemos afirmar que no parece haber un exceso de este metal en estos sitios; sin embargo, en La Mancha se observa que podrían presentarse problemas de contaminación.

b) La influencia de las lluvias en las concentraciones.

La siguiente información es una comparación de los tres sitios que hay en común (2, 4 y 7) de dos muestreos realizados en Holbox, para ver la influencia de las lluvias. Uno de los muestreos se hizo en julio (época de lluvias) y el otro en enero (época de sequía). Se presentan los datos reportados en la Tabla 15 y en la Figura 13

<i>Tabla 15. Concentración promedio de los sitios 2, 4 y 7 de cada muestreo (ug/g de peso seco)</i>						
HOLBOX HOJAS CROMO						
	Sitio 2		Sitio 4		Sitio 7	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
Holbox julio 2004	2.07	1.71	1.68	1.47	0.37	0.29
Holbox enero 2005	0.53	0.21	0.4	0.06	0.87	0*
HOLBOX RAÍCES Y RIZOMAS CROMO						
	Sitio 2		Sitio 4		Sitio 7	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
Holbox julio 2004	2.15	0.32	0.81	0.09	0.18	0.05
Holbox enero 2005	0.65	0.36	1.07	0.45	0.51	0.11

σ : Desviación estándar

*Las concentraciones de las tres replicas utilizadas para obtener este promedio fueron las mismas. Por eso la desviación estándar fue cero

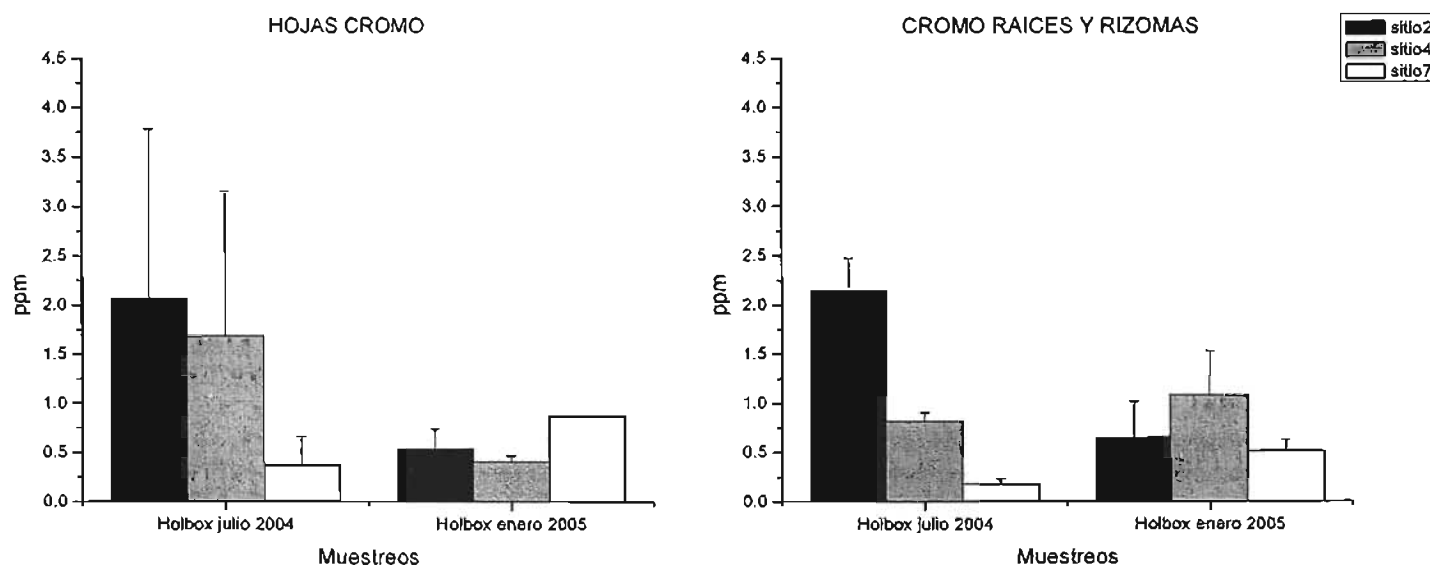


Figura 13. Concentración de cromo en los sitios 2, 4 y 7.

Lo que apreciamos en la Figura 13 es lo siguiente:

- en general, la concentración en las hojas es mayor a la de las raíces y los rizomas para los datos del muestreo de julio;
- si observamos el sitio 2, vemos que en julio hay una mayor concentración de cromo que en enero, tanto en hojas como en raíces y rizomas. La concentración en enero es de entre tres y cuatro veces menor que la que se encontró en julio. Esto puede deberse a las escurrentías que arrastran los contaminantes provenientes del basurero. Al analizar los otros sitios se observa que en las hojas del sitio 4 se sigue el mismo comportamiento (prácticamente cuatro veces más la concentración en julio que en enero) pero esto no ocurre en las raíces y rizomas. Para el sitio 7 las concentraciones en las hojas, raíces y rizomas son mayores en enero (temporada de secas) que en julio (temporada de lluvias). Con esto podemos considerar que la influencia de las lluvias y por lo tanto de las escurrentías toman importancia en ciertos sitios de la laguna. Se ve que esta influencia cobra importancia en los sitios 2 y 4, principalmente en el sitio 2 que es donde se ubica el basurero de la localidad.

En la Figura 14 se muestra la comparación realizada en el sitio 2 con los datos de La Mancha, Puerto Morelos y los reportados por otros autores:

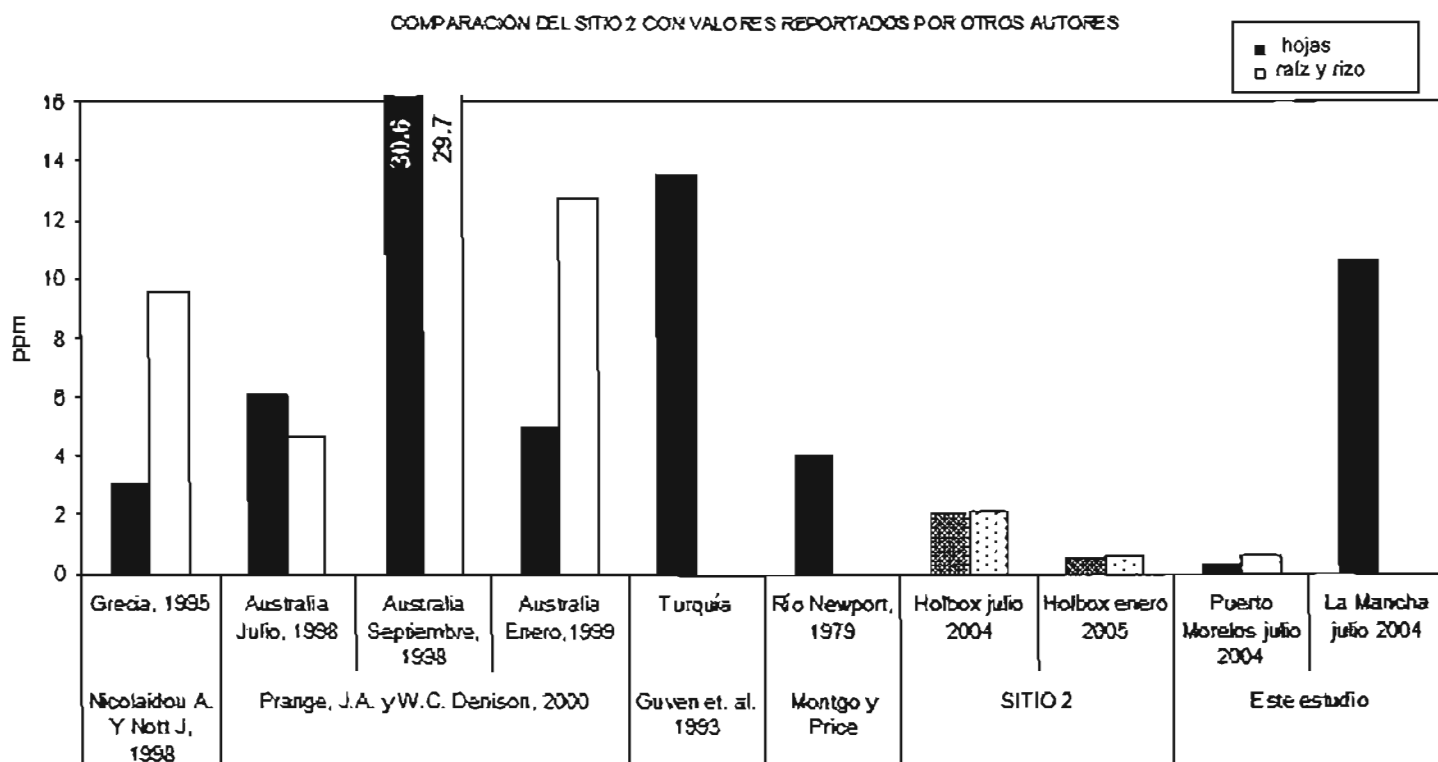


Figura 14. Comparación de las concentraciones del sitio 2 de Holbox con concentraciones reportadas por otros autores.

Lo que se aprecia en la Figura 14 es:

- la concentración en hojas de La Mancha, supera por mucho las concentraciones halladas en nuestro estudio del sitio 2 de Holbox;
- las raíces y rizomas del sitio 2 de Holbox presentan valores de concentración por debajo de lo reportado. Las concentraciones de enero son muy parecidas a las encontradas en Puerto Morelos;
- la muestra de julio del sitio 2 de Holbox presenta mayor concentración de cromo que la muestra de Puerto Morelos. Aún así, la cantidad de cromo presente es menor que la que se muestra en los otros sitios reportados. A pesar de encontrar una influencia de las lluvias y las escorrentías en la cantidad de cromo presente en el sitio localizado a la salida del

basurero, en los sitios del Caribe analizados (Holbox y Puerto Morelos) aparentemente no se encuentra un problema de contaminación por cromo;

- Nicolaidou y Nott (estudios realizados en el este de la costa de Grecia) reportan la concentración en hojas muy parecida a la nuestra, en el muestreo de julio, sólo que en raíces y rizomas se reporta una concentración mucho mayor a la nuestra;
- la concentración en el sitio 2, se encuentra por debajo de las concentraciones reportadas por otros autores, por lo que se considera que no existe un problema de contaminación.

c) Comportamiento de la laguna de Holbox

A continuación se muestra un estudio del comportamiento en toda la laguna Yalahau (Holbox). Para este estudio se analizaron las concentraciones de cromo de los ocho sitios de Holbox recolectados en enero del 2005. En la Tabla 16 se muestran los resultados del análisis, que también se presentan graficados en la Figura 15.

Tabla 16. Concentración promedio de Cr en los ocho sitios en Holbox ($\mu\text{g/g}$ de peso seco)

HOLBOX ENERO 2005 HOJAS			HOLBOX ENERO 2005 RAÍCES Y RIZOMAS		
Sitios	Promedio	Desv. Estándar	Sitios	Promedio	Desv. Estándar
1	0.44	0.04	1	1.08	0.21
2	0.53	0.21	2	0.65	0.36
3	0.35	0.02	3	0.67	0.03
4	0.4	0.06	4	1.07	0.45
5	0.71	0.08	5	0.5	0.06
6	0.7	0.03	6	0.18	0.18
7	0.87	0	7	0.51	0.11
8	0.62	0.16	8	0.43	0.07

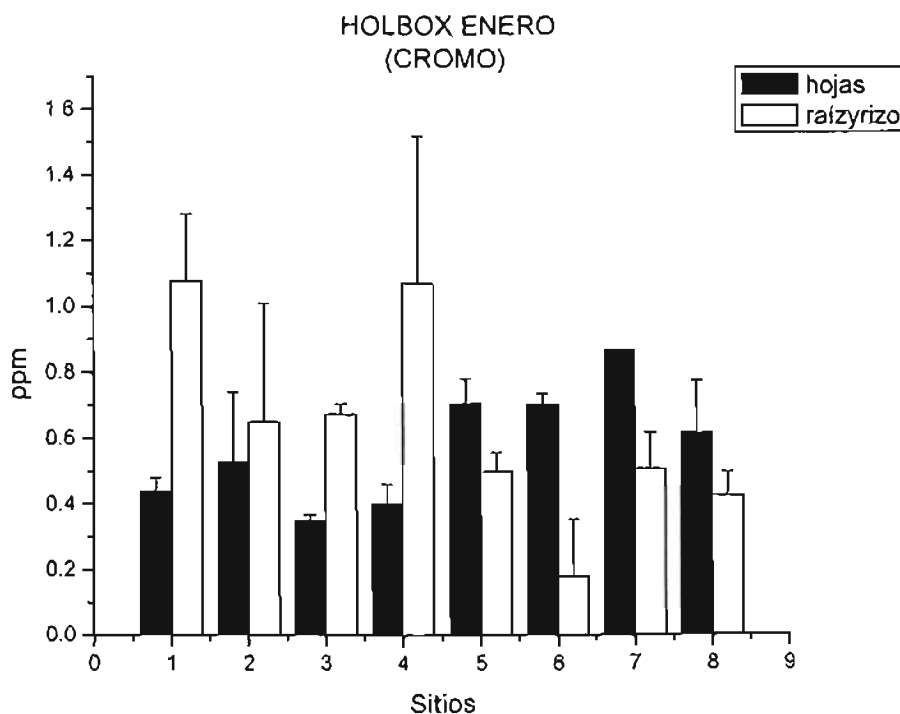


Figura 15. Concentración de cromo en hojas, raíces y rizomas en los ocho sitios de Holbox.

Lo que apreciamos de la Figura 15 es:

- en raíces y rizomas, los sitios con las concentraciones más altas son el 1 y 4. La menor concentración la tiene el sitio 6;
- en las hojas, los sitios con las concentraciones más altas son el 5, 6 y 7. Las concentraciones más pequeñas pertenecen a los sitios 3 y 4;
- en los sitios 1,2, 3 y 4 hay más concentración en raíces y rizomas que en las hojas. En cambio la tendencia para los sitios 5, 6, 7 y 8 es contraria, es decir, se tiene una mayor concentración en hojas que en raíces y rizomas. Estudios posteriores podrán indicar si se trata de un comportamiento debido a la dinámica de la laguna.

Lo que sigue a continuación es la comparación de la concentración de los ocho sitios con las concentraciones obtenidas en La Mancha, Puerto Morelos y las reportados por otros autores, que se podrán observar en la Figura 16 y Tabla 17 y se discutirán a continuación:

- las concentraciones tanto en hojas como en raíces y rizomas en los ocho sitios de Holbox en el 2005, están por debajo de las reportadas por otros autores;
- los datos de concentración en hojas, raíces y rizomas de Puerto Morelos son prácticamente de la misma magnitud que las concentraciones en los ocho sitios de Holbox en enero;
- los valores de La Mancha son muchísimo más grandes que cualquiera de los ocho sitios, incluso sólo son menores a los valores que reportan en Turquía y en Australia (septiembre 1998 que no se muestra en la figura). Como se ha mencionado, parece ser que en La Mancha hay influencias antropogénicas que están derivando en un exceso de cromo en el lugar;
- no contamos con los valores permitidos de la concentración en plantas, pero tenemos valores permitidos en el agua destinada al consumo humano que tiene como límite 50 ppm, los lodos cloacales no deben exceder las 150 ppm y los niveles en el suelo van de 0 a 1000 ppm. Las plantas en su desarrollo toman micronutrientes del medio donde crecen y los acumulan por lo que en general, se muestran mayores niveles en la planta que en su entorno. En este estudio se encontraron niveles en la planta inferiores a los permitidos para el agua destinada al consumo humano. Si la planta presenta bajos niveles, y además sabemos que bioacumula a los metales pesados, entonces podemos concluir que los

niveles en el agua son menores. En Holbox y en Puerto Morelos no parecen existir problemas de contaminación por cromo; sin embargo, si se aprecia la influencia del basurero a cielo abierto durante la época de las escurrentías.

Tabla 17. Concentración de Cr reportada previamente y de este estudio ($\mu\text{g/g}$ de peso seco)

Autor	Área de estudio	CROMO		Especie
		hojas	raíz y rizo	
Nicolaidou A. y Nott J, 1998	Grecia, 1995	3.1	9.6	<i>Cymodocea nodosa</i>
Prange, J.A. y W.C. Denison, 2000	Australia Julio, 1998	6.1	4.7	<i>Zostera capricorni</i>
	Australia Septiembre, 1998**	30.6	29.7	
	Australia Enero, 1999	5	12.8	
Güven <i>et. Al.</i> 1993	Turquía	13.6	—	<i>Zostera marina</i>
Montgomery y Price	Estados Unidos, 1979	4	—	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Puerto Morelos julio 2004	0.27	0.59	<i>Thalassia testudinum</i>
	La Mancha julio 2004	10.6	—	
Holbox	Sitio 1	0.44	1.08	<i>Thalassia testudinum</i>
	Sitio 2	0.53	0.65	
	Sitio 3	0.35	0.67	
	Sitio 4	0.4	1.07	
	Sitio 5	0.71	0.5	
	Sitio 6	0.7	0.18	
	Sitio 7	0.87	0.51	
	Sitio 8	0.62	0.43	

**El dato perteneciente al mes de septiembre no fue graficado porque el valor sobrepasa a los demás. Así se pueden apreciar los otros datos de mejor manera.

CROMO

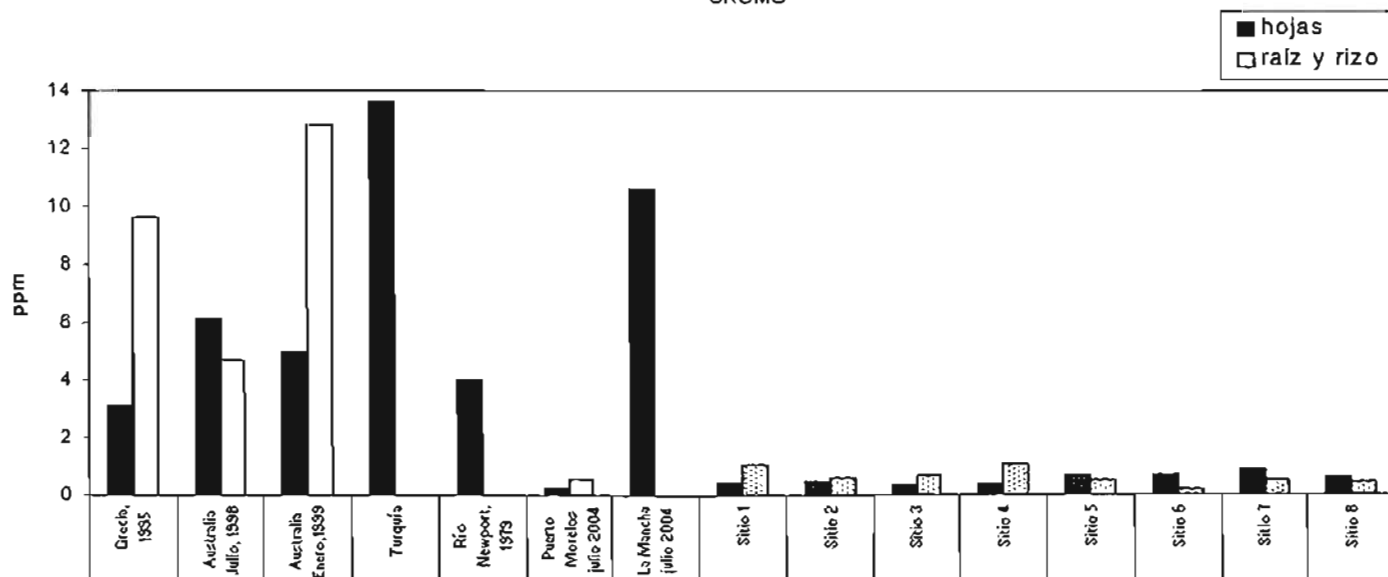


Figura 16. Concentración de cromo en hojas, raíces y rizomas en los ocho sitios de Holbox comparadas con otros autores.

HIERRO

a) Estudio general

Se realizó al igual que para el cromo, la comparación de todos los muestreos realizados en Holbox, Puerto Morelos y la Mancha por medio de un promedio global, para saber cuál de los tres lugares de estudio es el que presenta los niveles de concentración más altos de hierro. También se vió el comportamiento de la concentración por la influencia de las lluvias. En esta parte del estudio se hizo una comparación de los datos en común de los muestreos en Holbox, que son los sitios 2, 4 y 7.

A continuación se presentan los valores promedio obtenidos en este estudio, que se muestran en la Figura 17 y la Tabla 18. Los valores máximos y mínimos se incluyeron en la Tabla, para indicar la dispersión de los datos

De la Figura 17 y Tabla 18 podemos decir lo siguiente:

- de todos los datos (al igual que en el cromo) los de La Mancha en julio son mucho mayores que los demás. En el caso del hierro ésto se atribuye al tipo de terreno (hay una concentración mayor de hierro en esta zona) [Merino, 1995];
- Puerto Morelos y Holbox (los datos de julio en ambos casos) son sitios que presentan concentraciones parecidas en hojas, ya que además de poseer el mismo tipo de suelo ambas fueron muestreadas en temporada de lluvias;
- de los tres muestreos en Holbox, el que presenta las concentraciones en hojas, raíces y rizomas más grandes es el de enero del 2005. El hierro es un micronutriente esencial, y no sigue necesariamente el comportamiento de las lluvias. En este caso las concentraciones pueden depender más del estado de salud y del metabolismo de la planta.

A continuación en la Tabla 19, se muestra una comparación de los datos reportados por otros autores con nuestros resultados, para ver si se encuentran por debajo o sobrepasan los reportados.

<i>Tabla 18. Concentración promedio del hierro en todos los sitios disponibles ($\mu\text{g/g}$ de peso seco)</i>						
	HOJAS			RAÍCES Y RIZOMAS		
	máx.	promedio	min.	máx.	promedio	min.
Holbox Julio 2004	66.67	59.44	45	123.33	80.00	46.67
Holbox Octubre 2004	154.83	150.93	147.03	166.77	145.34	19.14
Holbox Enero 2005	496.6	198.99	100.53	547.57	231.34	98.00
Puerto Morelos Julio 2004	55	47.50	40	*	20.00	*
La Mancha Julio 2004	-	1846.67	-		⊗	

⊗ Valor no disponible debido a que en este sitio la mancha de pasto marino (*Thalassia testudinum*) es muy chica y fue imposible obtener las raíces y los rizomas.

*Los valores de las replicas fueron 20 en todos los casos, por eso no se pusieron en la Tabla ni los valores máximos ni los mínimos.

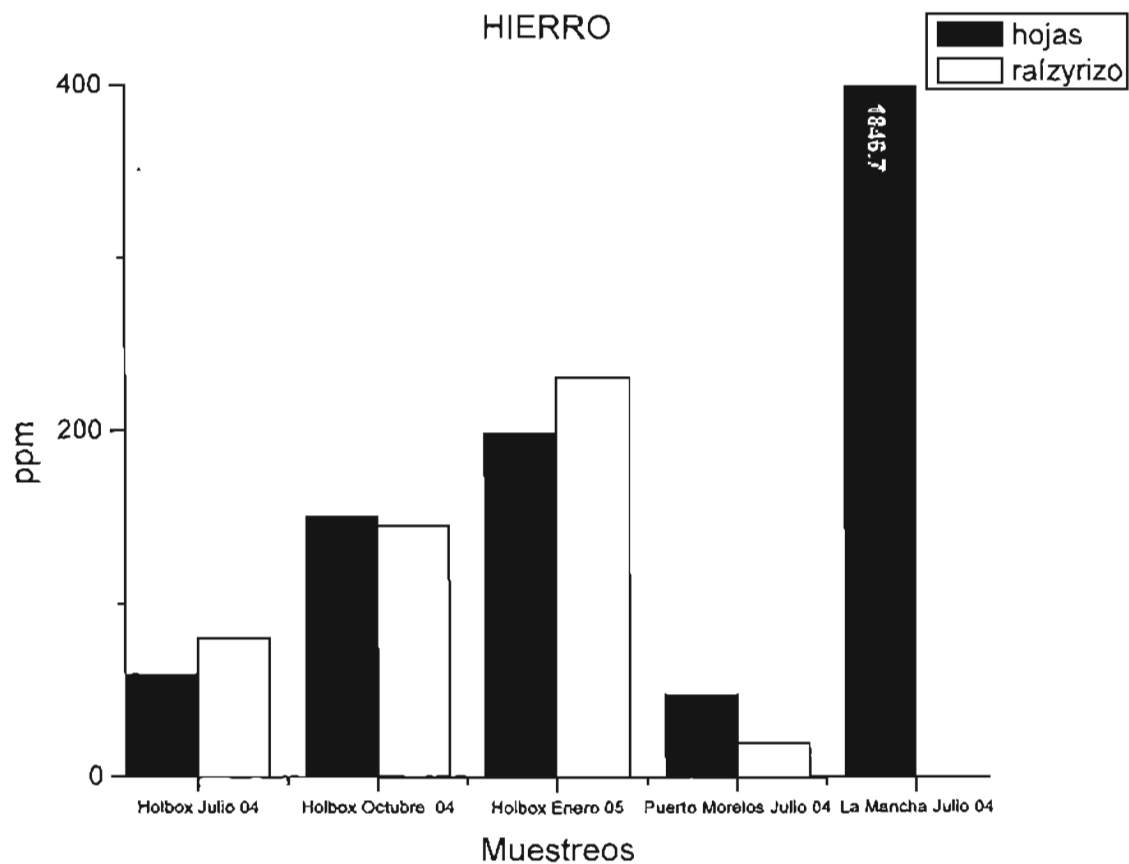


Figura 17. Concentración promedio de hierro en los diferentes muestreos.

Tabla 19. Concentración de Fe reportada previamente y las de este estudio ($\mu\text{g/g}$ peso seco)

Autor	Área de estudio	Fe (ppm)		Especie
		Hojas	raíces y rizomas	
Whelan Thomas, 2004 ▲ Laguna Madre	Verano, 2002 Invierno, 2002	182	251	<i>Thalassia testudinum</i>
		109	75.5	
Nicolaidou A. y Nott J, 1998 ▲	Este de la costa de Grecia, 1995	1829	2951.5	<i>Cymodocea nodosa</i>
Prange, J.A. y W.C. Denison, 2000 Queensland, Australia	Julio, 1998	2089	9160	<i>Zostera capricorni</i>
	Septiembre, 1998	7592	17889	
	Enero, 1999	2979	1829	
Merino, 1995 ▲	Puerto Morelos, 1994 Golfo de México, 1994	71.55	—	<i>Thalassia testudinum</i>
		302	—	
Botello y Villanueva, 1983 ▲	Laguna Bojorquez, 1982 Puerto Morelos, 1982	34.9	60.5	<i>Thalassia testudinum</i>
		51.7	129.1	
Este estudio	Holbox julio, 2004	59.44	80	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Holbox octubre, 2004	150.93	145.34	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Holbox enero, 2005	198.99	231.34	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	Puerto Morelos julio, 2004	47.5	20	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	La Mancha julio, 2004	1846.67	—	<i>Thalassia testudinum</i>

▲ Para poder hacer la comparación con otros datos reportados y con nuestros resultados se sacó un promedio del intervalo de la concentración que se encuentra reportado en la Tabla 8.

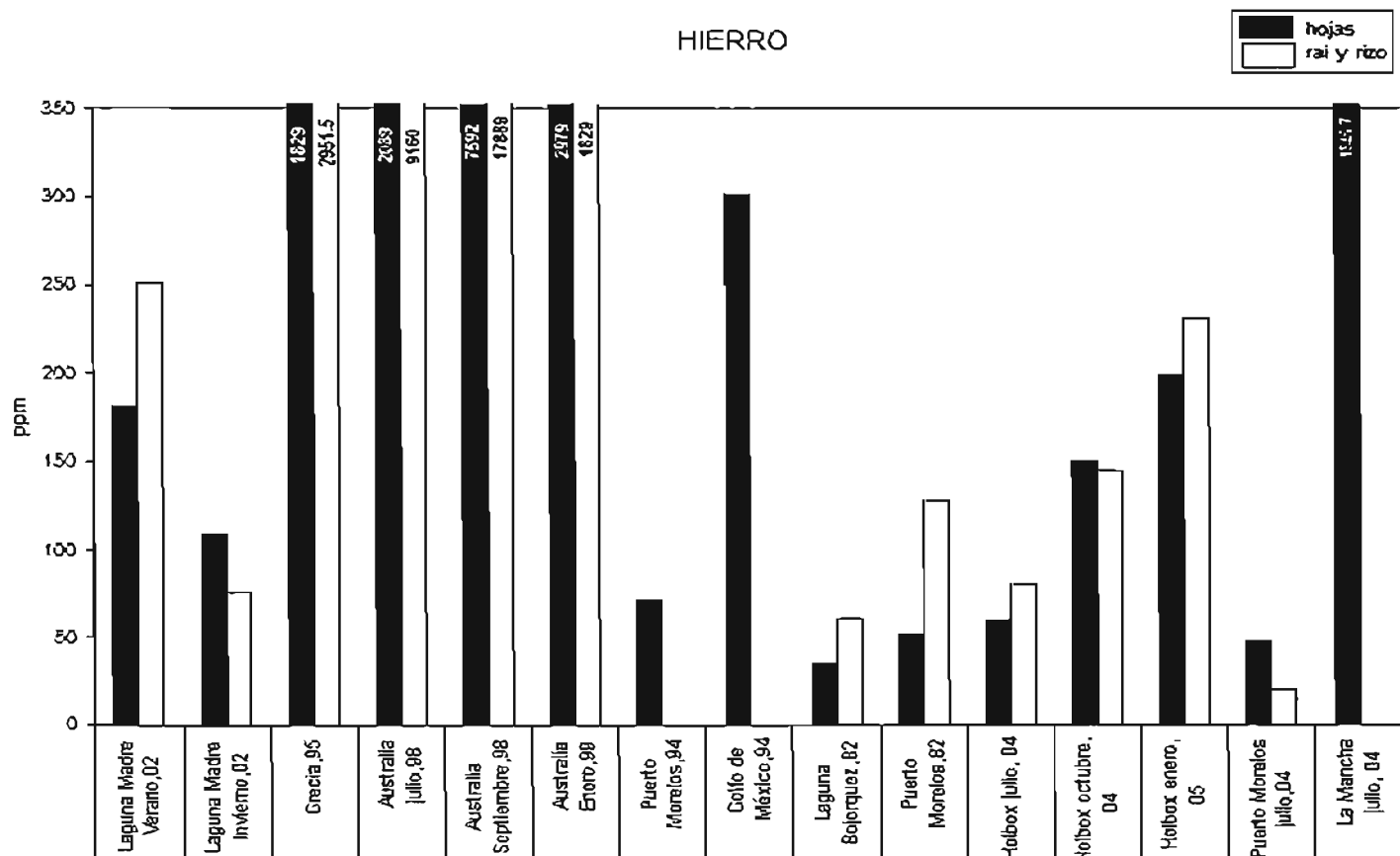


Figura 18. Comparación de nuestras concentraciones de hierro con las reportadas

Lo que observamos de la Figura 18 y la Tabla 19 es:

- no hay una clara tendencia de la concentración en las hojas, las raíces y los rizomas. Es decir, no se encuentra sistemáticamente mayor concentración en hojas que en raíces y rizomas;
- de todos los muestreos, los de La Mancha en julio son los que presentan los niveles más altos de concentración en hojas (excepto los reportados por Prange para Australia cuyos valores son mucho más altos);
- nuestros niveles de concentración de hierro se encuentran dentro del intervalo de los demás autores, excepto en Australia, donde se citan valores por arriba de las 2000 ppm. Las muestras obtenidas en Australia son de una zona industrial y urbana, por lo que parece natural que las cantidades en los sitios de nuestro estudio se encuentren por debajo de esos valores;
- nuestros valores de concentración tanto de hojas como de raíces y rizomas de Holbox en octubre 2004 y enero 2005 sobrepasan lo reportado en Laguna Madre (invierno del 2002) y Puerto Morelos (Merino, 1994 y Botello, 1982);
- en nuestro estudio, las concentraciones en raíces y rizomas de Puerto Morelos son las más pequeñas;
- Merino y Botello reportan datos de concentraciones en hojas muy similares, obteniendo mayores concentraciones en el Golfo de México que en el Caribe;
- la concentración de hierro en el Golfo de México es mayor a la del Caribe. Esto además de verse en nuestros resultados también se corrobora con lo reportado por Merino. Así podemos concluir que el tipo de suelo ejerce una influencia en la concentración de este metal;
- de los tres muestreos en Holbox, el que presenta las concentraciones en hojas, raíces y rizomas más grandes es el de enero del 2005 (que es temporada de secas). Esto puede deberse a que el hierro es un micronutriente esencial, y no sigue necesariamente el comportamiento de las lluvias. Las concentraciones dependen más del estado de salud y del metabolismo de la planta;
- no parece haber un exceso de este metal en los tres sitios de muestreo.

b) La influencia de las lluvias en las concentraciones

A continuación se presenta el análisis de los sitios 2, 4 y 7 de Holbox de las muestras tomadas en julio del 2004 y enero del 2005. Estos muestreos representan la época de lluvias y la época de secas, respectivamente, con lo cual se pudo ver la influencia de las escurrentías y del basurero de Holbox (sitio 2). Se presentan los datos en la Tabla 20 para después graficarlos en la Figura 19.

<i>Tabla 20. Concentración promedio de los sitios 2, 4 y 7 de cada muestreo (ug/g de peso seco)</i>						
HOJAS HIERRO						
	Sitio 2		Sitio 4		Sitio 7	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
Holbox julio 2004	66.67	11.55	66.67	5.78	45	7.07
Holbox enero 2005	105.98	19.4	100.53	11.52	126.43	8.14
RAÍCES Y RIZOMAS HIERRO						
	Sitio 2		Sitio 4		Sitio 7	
	Promedio	σ	Promedio	σ	Promedio	σ
Holbox julio 2004	70	10	123.33	11.55	46.67	5.78
Holbox enero 2005	121.92	10.4	186.17	24.71	461.03	62.05

σ Desviación estándar

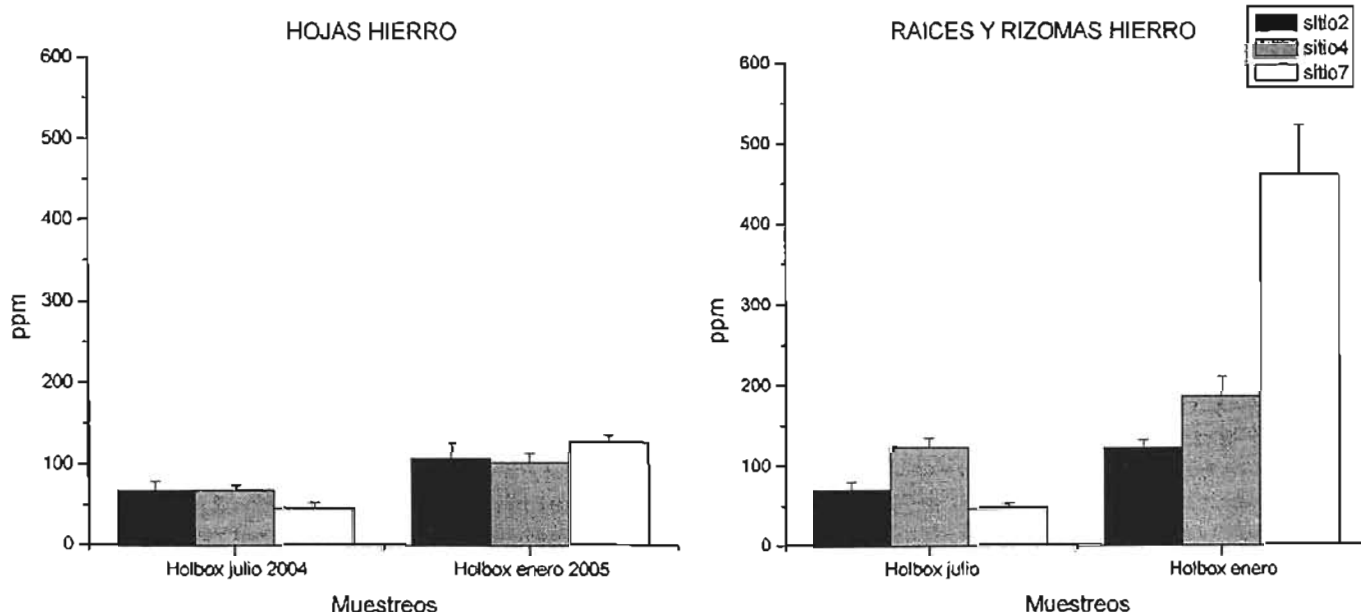


Figura 19. Concentraciones de hierro en los sitios 2, 4 y 7.

Lo que apreciamos de la Tabla 20 y Figura 19 es:

- la concentración en el sitio 2, es mayor en raíces y rizomas que en hojas y en enero la concentración en hojas;
- la concentración de raíces y rizomas del sitio 4 es mayor que en las hojas, tanto en el muestreo de julio como en el de enero;
- la concentración del sitio 7 en julio en hojas es prácticamente la misma que en raíces y rizomas. La concentración del sitio 7 de enero en raíces y rizomas es mucho mayor a la encontrada en hojas;
- la concentración del sitio 7 es la mayor en enero y la menor del muestreo de julio la concentración en hojas de los sitios 2 y 4 en julio, son iguales; en las raíces y rizomas el sitio 4 tiene una mayor concentración que el sitio 2;

En general:

- en cada sitio de muestreo, la concentración en julio es mayor que en enero, enfocándonos en el análisis de hojas por un lado y raíces con rizomas por el otro; la concentración de hierro es menor en julio que en enero en todos los casos;
- la concentración del hierro en raíces y rizomas es mayor que en hojas;
- las concentraciones parecen tener un aumento en la temporada de lluvias y luego siguen aumentando en la temporada de secas. No se encuentra una tendencia tan marcada por la influencia de las lluvias, como en el caso del cromo;
- el sitio 2, que es donde se encuentra el basurero, no reporta las concentraciones más altas, lo que puede significar que las concentraciones de hierro no se ven influenciadas por las escurrientías de este basurero;
- el sitio 7 es el que presenta las concentraciones más altas, esto puede deberse a que la absorción del hierro depende del estado de salud de la planta. En este sitio las plantas tenían una mejor apariencia comparada con los demás sitios, en especial las del sitio 2;
- como se ha mencionado, la principal diferencia entre el cromo y el hierro es que este último es un micronutriente esencial para llevar a cabo buena parte de las reacciones bioquímicas y no sigue necesariamente el comportamiento de las lluvias. En este caso se piensa que las concentraciones dependen más del estado fisiológico y del metabolismo de la planta.

c) Comportamiento de la laguna de Holbox

A continuación se muestra un estudio del comportamiento en toda la laguna Yalahau, en Holbox. Para este estudio se analizaron las concentraciones de hierro de los ocho sitios de enero del 2005 en Holbox .

Tabla 21. Concentración promedio de Fe en los ocho sitios (ug/g de peso seco)

HOLBOX ENERO 2005 HOJAS (HIERRO)			HOLBOX ENERO 2005 RAÍCES Y RIZOMAS (HIERRO)		
Sitios	Promedio	σ	Sitios	Promedio	σ
1	113.4	6.86	1	152.17	13.52
2	105.98	19.4	2	121.92	10.4
3	114.07	21.97	3	98.8	10.47
4	100.53	11.52	4	186.17	24.71
5	394.7	82.29	5	547.57	108.83
6	496.6	63.59	6	162.37	0.55
7	126.43	8.14	7	461.03	62.05
8	140.17	1.8	8	120.7	17.67

σ Desviación estándar

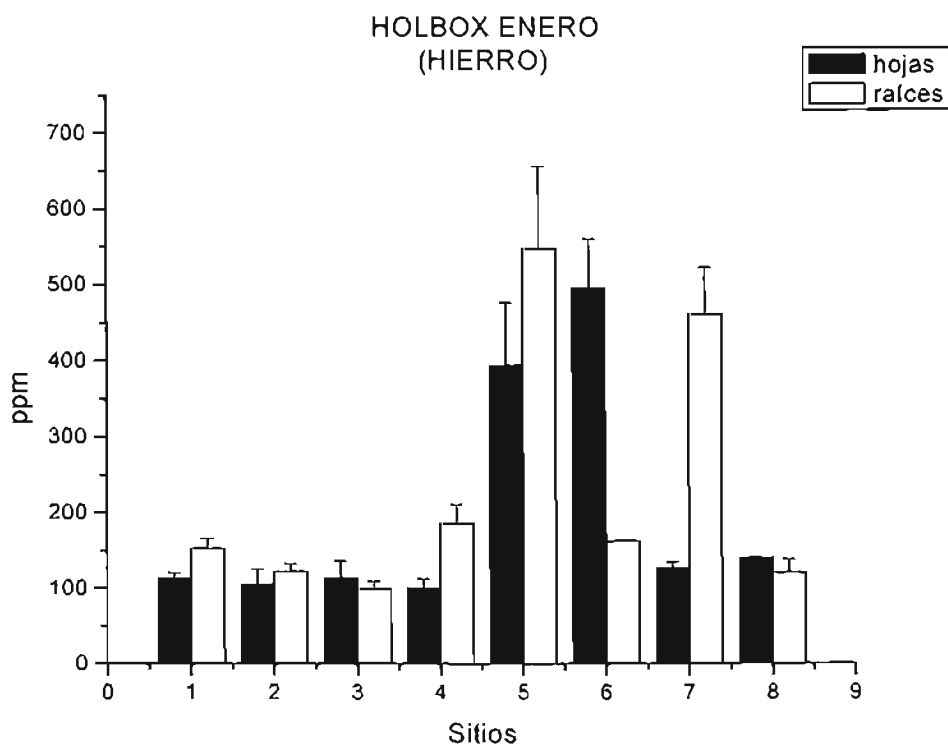


Figura 20. Concentración de hierro en el muestreo de enero del 2005 en Holbox

Lo que observamos en la Figura 20 y en la Tabla 21 es:

- en raíces y rizomas, los sitios con las concentraciones más altas son el 5 y el 7. Las menores pertenecen a los sitios 2, 3 y 8. En las hojas, los sitios con las concentraciones más altas son el 5 y el 6. Las concentraciones son similares entre sí y menores en los otros sitios;
- en el sitio 2 (basurero) no se presentan las concentraciones más grandes de hierro; como se ha mencionado. En este sitio los pastos no eran tan abundantes y presentaban una apariencia poco saludable (pálidos y con muchas epífitas) lo que nos lleva a pensar que las concentraciones de hierro en los pastos dependerán de su estado fisiológico;
- el sitio 5 presenta la mayor concentración en las raíces y el sitio 6 es el que presenta una mayor concentración en las hojas. Esto apoya la idea de que el hierro es un micronutriente que se absorbe según el estado de salud de la planta y no de las escurrientías. Los pastos estaban en mejor estado en los sitios 5, 6 y 7. Para corroborar esta explicación, se realizan estudios conjuntos que miden la concentración de metales pesados y su relación con el estado fisiológico de las plantas.

En la Tabla 22 y la Figura 21, se muestra la comparación de la concentración en los ocho sitios con las concentraciones obtenidas en La Mancha, Puerto Morelos y las reportadas por otros autores.

Lo que se aprecia en la Tabla 22 y la Figura 21 es:

- la alta concentración que hay en hojas, raíces y rizomas de los sitios 5, 6 y 7 de la laguna Yalahau, en Holbox, es notoria;
- la concentración en hojas, raíces y rizomas de los ocho sitios rebasan a lo reportado en Puerto Morelos (Botello [1983], Merino [1995]) y Laguna Bojorquez (Botello [1983]);
- los valores de concentración reportados en Laguna Madre en hojas son similares a los nuestros en los sitios 1, 2, 3, 4, 7 y 8. La concentración en raíces y rizomas es mayor en los ocho sitios que los reportados en Laguna Madre en el invierno del 2002.
- los valores reportados en Grecia y en Australia superan por mucho nuestros valores de los ocho sitios, tanto en hojas como en raíces y rizomas;
- en la laguna Yalahau, a pesar de presentarse valores altos de concentración en hojas, raíces y rizomas (sitios 5, 6 y 7), no parece haber un exceso de hierro, como el que se encuentra en la zona industrial de Australia.

Autor	Área de estudio	HIERRO		Especie
		hojas	raíz y rizo	
Whelan Thomas, 2004 Laguna Madre	Verano, 2002	182	251	<i>Thalassia testudinum</i>
	Invierno, 2002	109	75.5	
Nicolaidou A. y Nott J, 1998	Grecia, 1995	1829	2951.5	<i>Cymodocea nodosa</i>
Prange, J.A. y W.C. Denison, 2000 Australia	Julio, 1998	2089	9160	<i>Zostera capricorni</i>
	Enero, 1999	2979	1829	
Merino Martín, 1995	Puerto Morelos, 1994	71.55	—	<i>Thalassia testudinum</i>
	Golfo de México, 1994	302	—	
Botello y Villanueva, 1983	Laguna Bojorquez, 1982	34.9	60.5	<i>Thalassia testudinum</i>
	Puerto Morelos, 1982	51.7	129.1	
Este estudio	Puerto Morelos julio 2004	47.50	20.00	<i>Thalassia testudinum</i>
Este estudio	La Mancha julio 2004	1846.67	—	<i>Thalassia testudinum</i>
Holbox	Sitio 1	113.4	152.17	<i>Thalassia testudinum</i>
	Sitio 2	105.98	121.92	
	Sitio 3	114.07	98.8	
	Sitio 4	100.53	186.17	
	Sitio 5	394.7	547.57	
	Sitio 6	496.6	162.37	
	Sitio 7	126.43	461.03	
	Sitio 8	140.17	120.7	

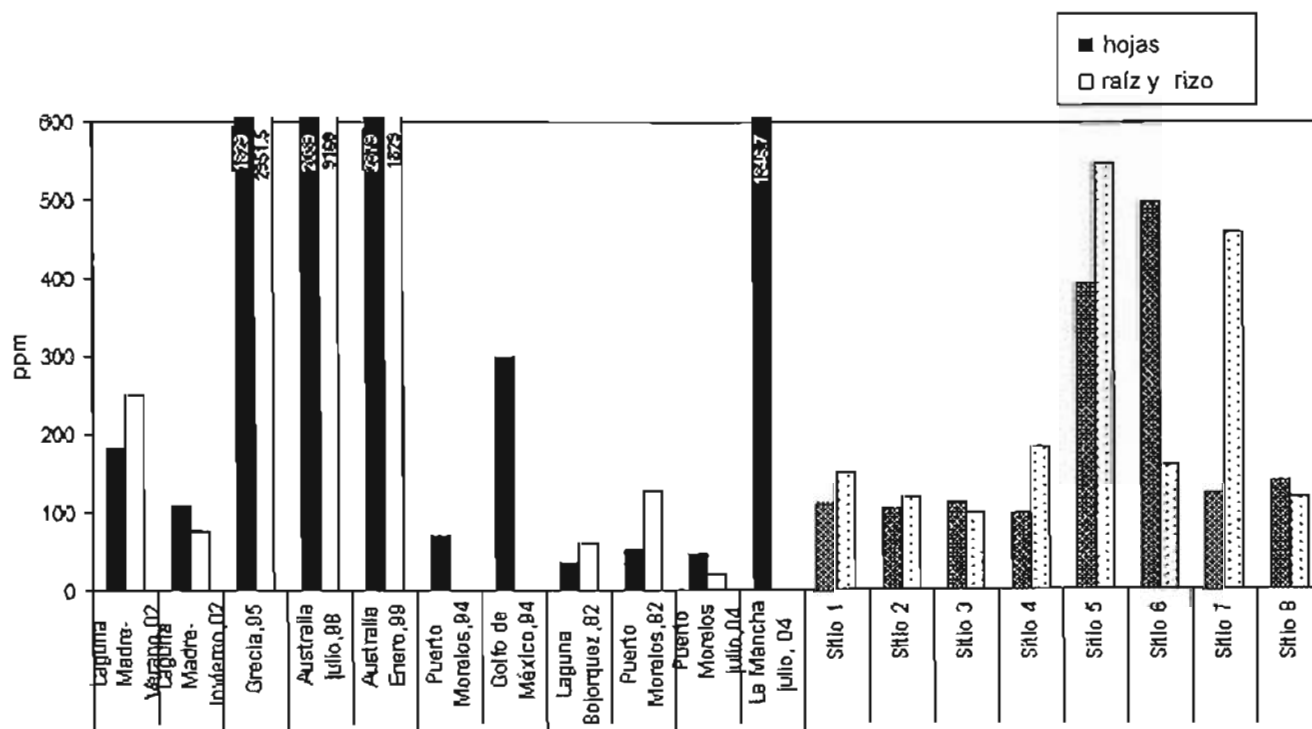


Figura 21. Concentración de hierro en hojas, raíces y rizomas en los ocho sitios de Holbox comparados con otros autores.

CONCLUSIONES

Se pudo analizar y cuantificar la presencia de Cr y Fe en tres zonas de importancia en México. Concluiremos para el cromo y el hierro por separado:

CROMO

- ✓ Las mayores concentraciones se presentaron en La Mancha (Veracruz).
- ✓ En la Mancha, las altas concentraciones de este metal tanto en hojas como en raíces y rizomas las atribuimos a influencias de tipo antropogénico y a las lluvias. Los valores encontrados indican que puede haber un problema de contaminación en este lugar. Hay que resaltar que sólo hubo un muestreo en este sitio, por lo que habrá que realizar el estudio en diferentes meses para poder apreciar el comportamiento de este metal en el lugar, y corroborar si es que hay o no contaminación.
- ✓ De los tres sitios de muestreo, Puerto Morelos y Holbox siguen una tendencia de la concentración muy parecida.
- ✓ La concentración en el Golfo de México es mayor que en el Caribe.
- ✓ Al comparar nuestros resultados de concentración en Holbox y Puerto Morelos con los de otros autores nos encontramos con que son menores, tanto en hojas como en raíces y rizomas. También al realizar las comparaciones de los sitios 2, 4 y 7 de Holbox en julio y enero, se observó que en temporada de lluvias las concentraciones aumentan, y que de estos tres sitios el que presenta mayor concentración es el sitio 2.
- ✓ No parece haber un exceso de este metal en los tres sitios de muestreo.
- ✓ En Holbox se encontró un comportamiento estacional. En general, octubre que es temporada de lluvias reporta las concentraciones más altas, mientras que enero que es temporada de secas reporta las más pequeñas. Es decir, hay una influencia directa de las lluvias en las concentraciones de todos los sitios ya que al incrementarse la época de lluvias aumenta la concentración de cromo.
- ✓ Nuestros resultados de concentración en hojas, raíces y rizomas del sitio dos, se encuentran por debajo de las concentraciones reportadas por otros autores.
- ✓ El sitio dos de Holbox (basurero) no representa un efecto grave por contaminación; sin embargo, si se encuentra una influencia en la laguna por lo que antes de que el

problema se vuelva más grave, sería conveniente tomar cartas en el asunto y quitar el basurero a cielo abierto.

- ✓ En el análisis de la laguna Yalahau, los ocho sitios tienen concentraciones en hojas, raíces y rizomas por debajo de lo reportado por otros autores.
- ✓ En la laguna Yalahau (Holbox) no parece haber contaminación por cromo.

HIERRO

- ✓ Las mayores concentraciones se presentaron en La Mancha (Veracruz)
- ✓ Puerto Morelos y Holbox son sitios que presentan concentraciones parecidas, lo que se puede atribuir a la naturaleza carbonatada del suelo.
- ✓ Podemos afirmar que el tipo de suelo afecta en gran parte a los resultados, pues en la zona del Caribe el suelo es de tipo carbonatado y en Veracruz el suelo es de tipo terrígeno. Este último presenta altas concentraciones de hierro, lo que se vió reflejado en los resultados de este trabajo.
- ✓ El hierro es un micronutriente y no sigue el comportamiento de las lluvias. La concentración de este metal puede depender del estado de salud y del metabolismo de la planta. Los sitios que presentan una mayor concentración de este metal también son los que tienen plantas más saludables.
- ✓ Nuestros valores de concentración no rebasan a los reportados en zonas industriales, inclusive los de La Mancha que son los mayores.
- ✓ El sitio 2, que es donde se encuentra el basurero, no reporta las concentraciones más altas, por lo que podemos decir que el basurero situado en el sitio 2 de Holbox no representa una influencia grave de contaminación por hierro.
- ✓ En la laguna Yalahau, a pesar de presentarse valores altos en algunos sitios, no parece haber un exceso de hierro. En La Mancha tampoco parecen excederse los valores reportados para zonas industriales.

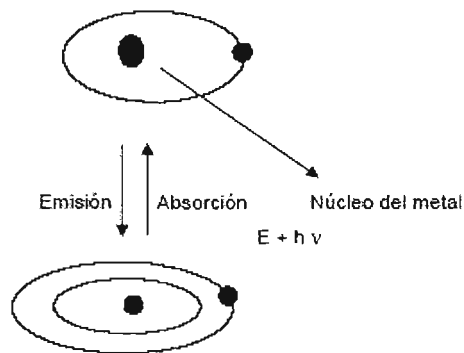
APÉNDICE I

▪ Espectroscopía de Absorción Atómica

Los átomos son capaces de absorber la luz. Este hecho nos brinda una poderosa herramienta analítica para realizar análisis cuantitativos y cualitativos, conocida como espectroscopía de absorción atómica (AA). La AA es una técnica analítica aplicable al análisis de trazas de elementos metálicos en minerales; de muestras biológicas y farmacéuticas; de aguas, alimentos y de sustancias relacionadas con el medio ambiente.

La AA se basa en que los átomos libres, en su estado fundamental, pueden absorber la luz a una cierta longitud de onda. La absorción es específica, por lo que cada elemento absorbe a longitudes de onda únicas. Los átomos absorben energía y con eso pasan de un estado fundamental, a un estado excitado. La energía que absorben los átomos es en forma de líneas muy delgadas de absorción, generalmente visibles en los espectros ultravioleta y visible. Durante la absorción, los electrones de la capa externa se excitan y por eso se dice que el átomo pasa a estar en un estado excitado.

Existe una relación simple entre la espectroscopía de emisión y la de absorción atómica, como se ilustra en la Figura 22. Esta figura muestra un átomo en su estado excitado, en equilibrio con un átomo en su estado basal y un fotón. La base de la espectroscopía de emisión es la formación de un átomo en su estado basal mas un fotón de un átomo excitado, mientras que el proceso inverso es la base de la espectroscopía de absorción atómica.



El electrón se movió a un nivel más alto de energía = $E + h\nu$

Figura 22. Relación entre emisión y absorción de energía por los átomos.

Esta simple ilustración nos indica de manera simple el efecto de las variables en el sistema. Por ejemplo, cualquier cambio que incremente la población total de átomos de una muestra también incrementará, tanto las señales de emisión, como las de absorción. La relación matemática que relaciona la emisión y la absorción nos puede indicar con mayor claridad la correspondencia entre ellas.

La intensidad S de una línea de emisión térmica está dada por la ecuación:

$$S = N_2 E / \tau = (N_1 E / \tau) g_1 / g_2 e^{-E/kT}$$

Donde,

$E = h \nu$

S = Intensidad de la línea de emisión

N_2 = Número de átomos excitados

N_1 = Número de átomos no excitados

τ = Tiempo de vida de un átomo excitado

E = Energía de excitación

g_1/g_2 = Probabilidad *a priori* de la relación de átomos en el estado basal y el estado excitado

T = Temperatura

k = Distribución de Boltzman

ν = Frecuencia de la línea de emisión = c/λ

c = Velocidad de la luz

λ = Longitud de onda de la línea de emisión o longitud de onda de excitación.

Se puede observar que la intensidad de la línea de emisión es proporcional al número de átomos excitados. Se observa también que para un número dado de átomos, el número de átomos excitados es función de la temperatura y de la frecuencia de la línea de emisión. Con un incremento en la temperatura, existe un aumento en el número de átomos

excitados. A temperatura constante, la energía requerida para que ocurra la excitación aumenta y disminuye la cantidad de átomos excitados. Al disminuir la cantidad de átomos excitados disminuye también la intensidad de la línea de emisión.

Concluimos de aquí que la intensidad de una línea de emisión está controlada por el número de átomos excitados, que a su vez están en función de la longitud de onda de emisión y de la temperatura del sistema. En la Tabla 23 se puede observar como sólo una pequeña fracción de los átomos se excita, aunque la energía de excitación sea baja y la temperatura sea alta.

Tabla 23. Relación entre la cantidad de átomos en estado excitado y la temperatura.

Longitud de onda de excitación, A	Número de átomos excitados por unidad de población a		Aumento causado por el incremento de 500 °K
	3000 °K	3500 °K	
2000	10^{-10}	$10^{-8.6}$	30
3000	$10^{-6.7}$	$10^{-5.7}$	9
6000	$10^{-3.3}$	$10^{-3.0}$	2.3

En contraste con esto, el grado de absorción sigue la relación

$$\int K_{\nu} d_{\nu} = \frac{\pi \cdot e^2}{mc} N_1 \cdot f$$

Donde:

K = Coeficiente de absorción a la frecuencia ν

e = Carga del electrón

m = Masa del electrón

c = velocidad de la luz

f = Fuerza del oscilador de la línea de absorción

$$f = \frac{\lambda_0^2 \cdot g_2}{(8 \cdot \pi \cdot g_1)} \cdot N_1 \cdot A_2^1$$

Donde:

λ_0 = Longitud de onda de la línea de resonancia

A_2^1 = Coeficiente de emisión espontánea de Einstein

La única variable es N_1 , que se refiere a los átomos que pueden absorber energía radiante.

La ley de Lambert - Beer es

$$I_1 = I_0 e^{-kbc}$$

y no puede aplicarse directamente a la espectroscopia de absorción atómica. Rara vez se tiene un sistema de átomos en estado estacionario con distribución homogénea y, por tanto, es imposible proporcionar un valor válido a c o b . A pesar de esto, el principio de la ley se debe aplicar al caso en el que la intensidad de la luz no absorbida es una función negativa del logaritmo natural del coeficiente de absorción. Esto nos permite graficar curvas de calibración y relacionar la concentración con la absorción.

1. El comportamiento físico de la absorción atómica se puede resumir en:
2. La absorción atómica es casi independiente de la temperatura y de la longitud de onda de absorción.
3. La mayoría de la población de átomos está en estado no excitado y puede absorber energía radiante, mientras que sólo una pequeña fracción puede emitir.
4. En la absorción atómica es suficiente medir la relación I_1/I_0 .

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta González Gilberto, Tesis licenciatura en Biología. (2002). FES Iztacala. *Metales pesados en un sistema bentónico de dos arrecifes de coral de Veracruz, Ver.*
2. Alloway, B.J. (1990). Heavy metals in soils. John Wiley and Sons, Inc. New York, ISBN 0470215984
3. Antón A., Lizaso J., (2001). Los metales pesados en la alimentación. *Fundación Ibérica para la seguridad alimentaria*, 1 (30)
4. Botello, V. A. (1983). Concentración de metales pesados en sedimentos recientes, hoja y rizoma de *Thalassia testudinum*, de laguna de Términos Campeche.
5. Botello, V. A., Ponce, V. G., et al. (1992). Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y desarrollo*, 17 (102) 28-48.
6. Brix, H., Lyngby, J. E., and Hans-Henrik, S. (1983). Eelgrass (*Zostera Marina*) as an indicator Organism of trace metals in the Limfjord, Denmark. *Marine Environmental Research*, 8 (1983) 165-181.
7. Caccia, Valentina G.; Millero, Frank J. y Albert Palanques (2003). The distribution of trace metals in Florida Bay sediments. *Marine Pollution Bulletin* 46, 1420-1433.
8. Campanella, L.; Conti, M.E.; Cubadda, F. y C. Sucapane (2001). Trace metals in seagrass, algae and mollusks from an uncontaminated area in the Mediterranean. *Environmental Pollution*. 111, 117 - 126.
9. Cockerham, Lorrin G. y Barbara S. Shane. Basic Environmental Toxicology. Editorial CRC Press. EUA 1994. pp. 109 - 125. 62
10. Contreras Espinoza, Francisco. Ecosistemas Costeros Mexicanos. UAM- Iztapalapa, México 1983.
11. Costa, Max (2003). Potential hazards of hexavalent chromate in our drinking water. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 188, 1-5.
12. De la raza, E.G y Tovilla H. (1986). Taxonomía y distribución de pastos marinos. Universidad y Ciencia.
13. De León Peña Najera Olga, Tesis licenciatura en Biología. UNAM, Facultad de Ciencias. *Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes de dos sistemas costeros del Caribe mexicano.*

-
14. Diario Oficial de la Federación (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
 15. Duarte C. M., Merino M., Gallegos M., (1995). Evidence of iron deficiency in seagrasses growing above carbonate sediments. *Limnol. Oceanogr.*, **40** (6) 1153-1158.
 16. Fourteenth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, FAO Nutrition Meetings Report Series. En prensa; Wld HlthOrg. techn. Rep. Ser. En prensa.
 17. Furness, Robert W. y Rainbow, Phillip S. Heavy Metals in the Marine Environment. Editorial CRC, EU 2000. pp. 104.
 18. Gaceta Parlamentaria, número 30 año 2003.
 19. Gutierrez-Aguirre, Martha Angélica, De La Fuente-Betancourt, María Gabriela, *et al.* Biomasa y densidad de dos especies de pastos marinos en el sur de Quintana Roo, México. *Rev. biol. trop.*, jun. 2000, vol.48, no.2-3, p.313-316. ISSN 0034-7744.
 20. Guven C. K., Saygy, N., y B. Ozturk (1993). Survey of Metal Contents of Bosphorus Algae, *Zostera marina* and Sediments. *Botánica Marina*, **36**, 3, 175-178.
 21. Hernandez Gil, R. 1989. Nutrición Mineral. Facultad de Ciencias Forestales. ULA. Mérida.
 22. INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) Gobierno Federal de México, 2004.
 23. Irwin, Garth y Alexander D. Kirk (2001). Intermediates in chromium(III) photochemistry. *Coordination Chemistry Reviews*. **211**, 25-43.
 24. Jordan Eric, De la Torre, Investigaciones preliminares de la biomasa de *Thalassia testudinum* Koing, en la costa del caribe mexicano: nota científica
 25. Kun-Seop Lee; Short, Frederick T. y David M. Burdick (2004). Development of a nutrient pollution indicator using the seagrass, *Zostera marina*, along nutrient gradients in three New England estuaries. *Aquatic Botany*. **78**, 197-216.
 26. Levina, Aviva y Peter A. Lay (2004). Mechanistic studies of relevance to the biological activities of chromium. *Coordination Chemistry*. **249**, 281 - 298.
 27. Lot, A. "General Status of Research on Seagrass Ecosystems in Mexico", en *Marine Science*, Volumen 4, 1977.

-
28. Manahan, Stanley E. (2000). *Environmental Chemistry*. CRC Press, EUA, Capítulos 1, 3, 7, 8.
29. Marín-Guirao, Lázaro; Marín Atucha, Arnaldo; Lloret Barba, Javier; Martínez López, Emma y Antonio J. García Fernández (2005). Effects of mining wastes on a seagrass ecosystem: metal accumulation and bioavailability, seagrass dynamics and associated community structure. *Marine Environmental*. **60**, 317 – 337.
30. Martin, J. H., K. H. Coale, K. S. Johnson, S. E. Fitzwater, et al. 1994: Testing the Iron Hypothesis in Ecosystems of the Equatorial Pacific Ocean. *Nature*, **371**, 123-129.
31. Montgomery, R y T. Price (1979). Release of Trace Metals by Sewage Sludge and the Subsequent Uptake by Members of a Turtle Grass Mangrove Ecosystem. *Environmental Science and Technology*. **13**, 5.
32. Nicolaidou A. and Nott J. A.,(1998), Metals in sediment, seagrass and gastropods near a nickel smelter in Greece: Possible Interactions. *Marine Pollution Bulletin*, **36** (5) 360-365 .
33. Nienhuis P.H. (1986), Background levels of heavy metals in nine tropical seagrass species in Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, **17** (11) 508 -511.
34. Noriega Escobar Elia, Tesis licenciatura en Biología. (2001). FES Iztacala. *Metales pesados en Thalassia testudinum (pasto marino), en el sistema arrecifal Veracruzano*.
35. Pérez del Toro R. R., (2001). Arrecifes artificiales: una nueva forma de conservación de ecosistemas marinos. *Diálogos*, **2** (2) 57-64.
36. Phillips, D.J.H. (1980), Aquatic biological indicators-their use to monitor trace metals and organochlorine pollution. *Applied Science Publishers*. London, p.p 460
37. Pickering H., Whitmarsh D., Jensen A. (1998). Artificial reefs as a tool to aid rehabilitation of coastal ecosystems: Investigating the Potential. *Marine Pollution Bulletin*, **(37)** 505-514.
38. Prange, J. A. y W. C. Dennison (2000). Physiological Responses of Five Seagrass Species to Trace Metals. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 41, Nos. 7 – 12, 327 – 336.
39. Sadiq, M. (1992). Toxic metal chemistry in marine environments. New York. Pp. 390.
40. Schoeder, Peter y Anitra Thoraug (1980). Trace Metal Cycling in Tropical – Subtropical Statuaries Dominated by the Seagrass *Thalassia testudinum*. *Amer. Journal Bot.* **67:7**, 1075 – 1088.
-

-
41. Sharma, Virender K.; Rhudy, Kurtis B.; Koenig, Robert y Felipe G. Vazquez (1999). Metals in Sediments of the Upper Laguna Madre. *Marine Pollution Bulletin* **38**: 12, 1221 - 1226.
 42. Shumilin-Evgueni. (1996). Biogeoquímica de los elementos traza en el ambiente marino. *Acta INAGEQ* 2:95-96.
 43. Stoner, A. W. 1980. The role of the seagrass biomass in the organization of benthic macrofaunal assemblages. *Bull. Mar. Sci.* **30**: 537-551.
 44. Thorhaug, A. 1986. Review of seagrass restoration efforts. *Ambio* **15**: 110-117.
 45. Tovar Juárez Edgar, Evaluación de Metales pesados en dos sistemas bénticos arrecifales de Veracruz, Ver. Tesis de Licenciatura, FES Iztacala, UNAM 2000.
 46. Valdespino Saenz, Job (2005). Determinación de Metales Pesados en *Thalassia testudinum* en dos zonas de la Península de Yucatán. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, UNAM.
 47. Van Tussenbroek, Brigitta I.; Galindo, Carlos A. y Judith Marquez (2000). Dormancy and foliar density regulation in *Thalassia testudinum*. *Aquatic Botany* **68**, 281-295.
 48. Van Tussenbroek, B. I. 1995. *Thalassia testudinum* leaf dynamics in a Mexican Caribbean coral reef lagoon. *Mar. Biol.* **122**: 33-40.
 49. Villalobos-Pietrini Rafael. Efectos biológicos del cromo. Laboratorio de radiobiología y mutagenesis ambiental, instituto de biología, UNAM. 1983
 50. Villanueva, F. S. y A. V. Botello (1998). Metal Pollution in Coastal Areas of Mexico. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* **157**, 53 - 94.
 51. Wang Q., Kim D., et al., (2004). Sources and remediation for mercury contamination in aquatic systems (a literature review). *Environmental Pollution*, **131** (2004) 323-336.
 52. Whelan III, Thomas; Espinoza, Jorge; Villarreal, Xiomara y Maria Cotta Goma (2005). Trace metal partitioning in *Thalassia testudinum* and sediments in the Lower Laguna Madre, Texas. *Environment International*, **31**:1, 15-24.