

88



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**"METALES PESADOS EN *THALASSIA TESTUDINUM* (PASTO  
MARINO), EN EL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO "**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :**

**B I O L O G A**

**P R E S E N T A :**

**ELIA NORIEGA ESCOBAR**

**DIR. M. EN C. GUILLERMO HORTA PUGA**



**TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO 2001**

297464



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.



UNAM IZTACALA

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA  
JEFATURA DE LA CARRERA DE BIOLOGIA



IZTACALA

2001.

**DR. FELIPE TIRADO SEGURA**  
**DIRECTOR**  
**PRESENTE.**

Atención Lic. América Landa Romero  
Jefa de la Unidad de Administración Escolar.

Los abajo firmantes, miembros de la Comisión Dictaminadora del trabajo de  
(X) Tesis de Investigación Tesis de experiencia Profesional ( )  
Titulado "Metales Pesados en *Thalassia testudinum* (pasto marino), en el Sistema Arrecifal Veracruzano"

Que presenta el pasante de Biología **ELIA NORIEGA ESCOBAR**  
Para obtener el título de Biólogo.

Informan que después de haber revisado cuidadosamente el trabajo, consideramos que reúne las características de calidad académica que se requieren para aspirar a la obtención del título citado, razón por la cual otorgamos nuestros votos aprobatorios para la presentación del examen profesional correspondiente.

GRADO	NOMBRE	FIRMA	CARGO
DR	IGNACIO PENALOSA CASTRO	<i>Ignacio Penalosa Castro</i>	Presidente
M EN C	GUILLERMO HORTA PUGA	<i>Guillermo Horta Puga</i>	Vocal
M EN C	CESAR MATEO FLORES ORTIZ	<i>Flores Ortiz Cesar M.</i>	Secretario
M EN C	JONATHAN FRANCO LOPEZ	<i>Jonathan Franco Lopez</i>	Suplente
M EN C	SILVIA ROMERO RANGEL	<i>Silvia Romero Rangel</i>	Suplente

Con base en lo anterior solicito su autorización para que los profesores que otorgan los votos aprobatorios funjan como sinodales del examen profesional en el cargo anotado, y a la Administración Escolar otorgue la fecha para la Réplica Oral del trabajo presentado.

Atentamente  
"Por mi raza hablará el espíritu"

*S. Vaca Pacheco*  
Dr. Sergio Vaca Pacheco  
Jefe de la Carrera

**VoBo Dr Felipe Tirado Segura**  
**Director**

## AGRADECIMIENTOS

---

*Al M. en C. Guillermo Horta Puga por la revisión de este trabajo, así como por sus consejos y amistad.*

*A la Dra. Patricia Dávila y a la UBIPRO por el apoyo para la realización de este trabajo.*

*A mis sinodales Dr. Ignacio Peñaloza, al M. en C. Cesar M. Flores, a la M. en C. Silvia Romero y al M. en C. Jonathan Franco, por sus comentarios tan valiosos los cuales ayudaron al enriquecimiento de este trabajo y a mi desarrollo profesional.*

*A los integrantes del proyecto INVEMAR, Edgar Tovar, Eduardo Palacios, Gilberto Acosta, Guadalupe Barba y Xochitl Coromoto, por su ayuda para la realización del trabajo en campo y laboratorio.*

*A los profesores de Biología que tuve en el transcurso de mi carrera, y que influenciaron en mi formación profesional.*

*A mis padres y hermanos, por el apoyo incondicional que me brindaron cuando más los necesite GRACIAS.*

*A ti amor, por ayudarme a llegar a la meta GRACIAS.*

*A ti hija por que aun que pequeña, resentías mi ausencia TE AMO.*

*Y a todas aquellas personas que de alguna manera me apoyaron.*

## DECLARATORIA

---

*A Dios, por darme la vida y por acompañarme siempre.*

*A la persona que me inspiro desde siempre para seguir adelante, por la cual me fije esta meta que hoy he alcanzado, y de la cual he recibido amor, cariño y comprensión, a mi padre LUCIANO LUIS NORIEGA.*

*A mi madre ROSA MARIA ESCOBAR por sus consejos, amor y comprensión a lo largo de mi vida.*

*A mis hermanos JAVIER, ERNESTO Y ROSY, por el cariño que nos une.*

*Al M.V.Z. ARTURO SOSA, por su amor y confianza a lo largo de mi carrera que fueron un aliciente para seguir adelante, te amo mi amor.*

*A mi hija DIANA CAROLINA SOSA NORIEGA, por ser la luz en mi vida que me ayudo a seguir siempre adelante, superándome por ti y para ti chiquita.*

*A mis amigas y amigos por su amistad, en especial a VERONICA JIMENEZ Y JUANA BAUTISTA por estar conmigo en los buenos y malos momentos.*

*A todos aquellos que luchan por alcanzar una meta.*

## ÍNDICE

---

RESUMÉN.....	1
INTRODUCCIÓN .....	2
ANTECEDENTES.....	7
OBJETIVOS .....	8
DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	9
MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
DISEÑO DEL MUESTREO .....	11
RECOLECCION DE MUESTRAS .....	12
PROCESAMIENTO DE MUESTRAS .....	13
DIGESTIÓN QUÍMICA .....	13
ANÁLISIS INSTRUMENTAL .....	14
PRESENTACION DE DATOS .....	16
RESULTADOS .....	17
DISCUSIÓN .....	25
CONCLUSIONES .....	32
BIBLIOGRAFÍA .....	33
ANEXO 1 .....	39
ANEXO 2 .....	40
ANEXO 3 .....	47

## RESUMEN

---

La inigualable riqueza con que cuentan las zonas costeras tropicales y en especial los ecosistemas arrecifales, depende en gran medida de no alterar las condiciones ambientales naturales, donde se desarrollan.

En este trabajo se presentan los resultados de los análisis realizados para evaluar la contaminación por metales pesados (MP): Al, Cu, Cd, Ni, Pb y Zn por espectrofotometría de absorción atómica, en la especie *Thalassia testudinum* de seis zonas arrecifales (Chopas, Isla Verde, La Gallega, Hornos, Punta Gorda y Punta Mocambo) del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Es notable que las actividades humanas e industriales en la zona costera de Veracruz incrementan significativamente los niveles de metales pesados en el SAV. Así los resultados de este trabajo revelan que el SAV se encuentra altamente contaminado por MP; presentándose en mayor concentración el Zn, Al, Cu y Pb, y en menor concentración el Cd.

## INTRODUCCIÓN

---

La inigualable riqueza natural con que cuentan las zonas costeras tropicales, en especial los ecosistemas arrecifales, depende en una buena parte de no alterar las condiciones ambientales naturales o por lo menos de no ejercer presiones excesivas sobre el medio. Sin embargo estos ecosistemas están siendo fuertemente impactados por la actividad humana que se desarrolla en la franja costera de los continentes como consecuencia del desarrollo urbano, agrícola, portuario e industrial, lo que genera una gran cantidad de desechos entre los que se incluyen diversos contaminantes físicos, químicos y biológicos (Echaniz 1988, Guzmán y Jiménez 1992, Hernández *et al* 1996, Shumilin 1996). Los metales pesados se encuentran entre los principales agentes de contaminación química, que entran al medio marino (Páez 1996, Villanueva y Botello 1998), lo cual es un problema común de toda la región costera del Golfo de México, que se asocia a todas las grandes ciudades como Tampico, Veracruz, Coatzacoalcos, Villahermosa y Campeche (Botello *et. al.* 1992, Villanueva y Botello 1992, Horta-Puga 1995, Villanueva y Páez 1996, Villanueva y Botello 1998).

El término metal pesado (MP) se refiere esencialmente a aquellos elementos metálicos, que en su forma elemental tienen pesos específicos mayores de 5 y que forman parte de los oligoelementos presentes en la hidrosfera en concentraciones del orden de los microgramos por litro (Mandelli 1979). Algunos MP son esenciales para el óptimo desarrollo de los seres vivos. La función que desempeñan estos elementos en los sistemas biológicos radica en que participan en los procesos redox y transferencia de electrones, incluyendo la fotosíntesis y la respiración, (Butler 1998). Contribuyen a hacer más eficiente la asimilación de nutrientes, ya que los procesos implicados son catalizados por las metaloenzimas las que contienen diversos MP entre los que se encuentran el Cu, Zn, Mo, Mn y Mg. Metales como Mn y Mg, son necesarios para la enolasa y la piruvato descarboxilasa, enzimas del metabolismo de los carbohidratos (Foul 1990, Villanueva y Botello 1992).

En el caso de metales como el cadmio, plomo y mercurio, aunque se han encontrado en organismos, no se les conoce alguna utilidad en los procesos fisiológicos por el contrario, son ajenos a los sistemas vivos y constituyen un peligro para el desarrollo normal de los organismos, pueden ser tóxicos, (Foul 1990, Villanueva y Botello 1992). Los MP pueden alcanzar altos niveles de toxicidad si se les encuentra en elevadas concentraciones en el medio. Debido a que no son biodegradables, estos son persistentes y tienden a acumularse fácilmente en los diferentes niveles tróficos (Díaz *et al.* 1996), y llegan a alterar los ciclos biogeoquímicos de otros elementos (Horta-Puga 1995), pueden causar un desequilibrio en la estructura natural de los ecosistemas, lo que puede inducir cambios irreversibles. Por lo anterior, resulta muy importante llevar a cabo estudios enfocados al conocimiento de la dinámica de estos contaminantes en el



medio marino. En general los MP producen alteraciones en la bioquímica de los diferentes compartimentos celulares. Se caracterizan por su afinidad con el azufre, por esta razón inactivan a las enzimas, ya que se unen a los grupos sulfhidrilos (-SH), también se enlazan a los grupos carboxilos (-COO) y aminos (-NH<sub>2</sub>) de las proteínas. Algunos metales inhiben los procesos de transporte a través de las membranas celulares, cuando se unen a estas, como el Cd, Cu, Pb y Mg. Una vez en el organismo los metales cruzan las membranas celulares por procesos de transporte pasivo y por endocitosis, dentro de la célula reaccionan con los componentes del citosol asociándose a los grupos funcionales de las proteínas, como ya se mencionó anteriormente, desplazando así metales benéficos en el sitio activo de la enzima, alterando o inhibiendo su actividad. (Viarengo 1985, Espina y Vanegas 1996). Poner en la presentación un ejemplo de inhibición en la proteína, en transporte para explicar todo esto. También pueden interactuar con las proteínas nucleares, alterando el complejo estructural de la cromatina en el metabolismo del ADN y ARN. Por otro lado dentro de la célula, la mitocondria es uno de los blancos de los MP, ya que inhiben la fosforilación oxidativa (Viarengo 1985). En las plantas, metales como el plomo reduce la velocidad de mitosis en las células de las raíces, especialmente al bloquear la metafase, lo cual puede explicar la reducción aparente en el crecimiento; a elevadas concentraciones el plomo puede provocar una reducción de procesos vitales tales como la fotosíntesis, la transpiración o la absorción de agua, también puede contribuir a la deficiencia de otros nutrientes (Badillo 1986, Kabata 1991).

Los seres vivos pueden incorporar MP directamente por diferentes mecanismos. En el caso de organismos tales como las algas, uno de los mecanismos de captación de metales, en especial en *Chlorella vulgaris*, es la rápida absorción en la superficie por transporte pasivo (Yeon-Cho et al. 1994). Numerosos estudios han demostrado que la captación de Cu se da por absorción pasiva, en las raíces de plantas y que las formas solubles del Zn también son captadas fácilmente (Badillo 1986). Así es factible el proceso de acumulación de estos contaminantes en diversas estructuras corporales, como se ha demostrado ampliamente en el ostión (*Crassostrea virginica*), la jaiba (*Callinectes rathbunae*), el camarón (*Penaeus aztecus*), peces (e.g. *Bairdiella ronchua*), etc. (Villanueva y Paez 1996). También influyen directamente en los niveles internos de MP factores biológicos tales como la edad, la talla, los hábitos alimenticios y el estadio de madurez sexual (Paez 1996).

Uno de los ambientes marinos más estudiados, desde el punto de vista de la contaminación ambiental, ha sido el Golfo de México. Caracterizado por la influencia de diversos afluentes naturales y la descarga directa e indirecta de aguas de desecho, además de la continua influencia oceánica por las corrientes que transportan contaminantes desde el Mar Caribe, esta cuenca semicerrada se convierte en un receptáculo natural de sustancias contaminantes vertidas al medio marino. Lo anterior ha traído como consecuencia que en general los niveles ambientales de MP sean altos si se les compara con los registrados en otras áreas oceánicas (Botello et al. 1992). Cabe mencionar que los estudios sobre la determinación de los niveles de MP se han desarrollado preferentemente en

sedimentos marinos, peces y agua de mar (Botello *et al.* 1992), pero los estudios en especies de plantas acuáticas son muy escasos, sobre todo en pastos marinos y en especial para la especie *Thalassia testudinum*, que es una de las principales contribuyentes de las comunidades de pastos marinos asociados a estuarios y ecosistemas arrecifales del Atlántico tropical. Las comunidades de pastos marinos, se distribuyen en dos grandes zonas oceánicas: el Indo-Pacífico y la cuenca del Caribe y Golfo de México, *Thalassia testudinum* (Banh ex König), se distribuye en el Golfo de México y Mar Caribe hasta las Bermudas (De la Lanza 1986, Dawes 1991). Son sumamente importantes ya que son sitios de alta sedimentación debido a la captura de material particulado orgánico e inorgánico, por lo que contribuyen a la estabilización del sustrato (De la Lanza 1986, Dawes 1991, Guzmán y Jiménez 1992). Las comunidades de estos pastos representan áreas de crianza, reproducción y protección para diversas poblaciones de peces e invertebrados, constituyendo un hábitat particular o biotopo bien definido en el medio arrecifal (Ogden *et al.* 1977, De la Lanza 1986, Vargas y Yañez 1987, Alvarez *et al.* 1986). En particular el pasto marino *Thalassia testudinum*, también es una fuente directa de alimento para una gran variedad de especies de invertebrados macrobentónicos (Tribble 1981, Young 1982, Aguirre 1986, Solis y Carreño 1986, Dawes 1991, Toledo 1996), además estos pastos interactúan con otras fuentes de producción primaria que soportan la estructura trófica estuarina y arrecifal, ya que sus hojas por ser anchas permiten que se desarrollen un gran número de organismos epífitos (Trayer 1975, Dawes 1991). Por otro lado, juegan 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 estos mismos en el sustrato (Nugent *et al.* 1978).

Los pastos marinos evolucionaron a través de una transición gradual de especies de agua dulce y especies hidrofíticas de aguas salobres (Tomlinson 1969, De La Lanza 1986, Dawes 1991, Toledo 1996). Morfológicamente, *Thalassia testudinum* tiene rizomas, tallos horizontales, que suelen estar bajo la superficie del sustrato (Tomlinson 1969). Del rizoma se desarrollan también las hojas que son planas, en forma de listón o cilíndricas además ser flexibles (Anexo 1), por lo que pueden soportar el movimiento del agua permaneciendo erectas. La estructura interna de este pasto, es bastante uniforme, típica de una planta hidrofítica. Su tejido característico en hojas, raíces y rizomas es un aerénquima, que consta de espacios de aire que ayudan a la flotación de las hojas y permiten el intercambio gaseoso en toda la planta. Los cloroplastos están limitados a la capa epidérmica de la hoja, no se observan estomas en las hojas y la osmoregulación esta dada por las numerosas mitocondrias en las células epidérmicas (Dawes 1991). Las flores, nacen en la base de los racimos foliares, son estaminadas con una larga base o pedicelo y son pequeñas de color blanco pálido. El polen es liberado en filamentos gelatinosos los cuales son llevados por las corrientes de agua. La planta es dioica y la floración es común durante todo el año, pero no al mismo tiempo en todas las plantas, produciendo frutos con 4 o 5 semillas. Este pasto esta adaptado a sedimentos blandos y se encuentra en aguas relativamente tranquilas, hasta profundidades de 25 metros, y áreas de cuya salinidad fluctúa de 25-40 ‰.

Son pocos los estudios que se han llevado a cabo sobre la determinación de MP en pastos marinos en general, y en *Thalassia testudinum* en particular. Entre estos destacan los estudios de Botello (1983), Nienhuis (1986), Guven *et al.* (1993) y Malea *et al.* (1994), quienes sólo registran los niveles de metales pesados para diferentes especies de pastos marinos (Tabla 1). Además se cuenta con los estudios de Montgomery y Price (1979), Peter (1980) y Otte *et al.* (1993) que describen la captación de MP en ambientes estuarinos. A continuación se presenta un breve resumen de los resultados obtenidos en los trabajos antes mencionados. Montgomery y Price (1979), determinaron la relación de los niveles de MP en aguas residuales, *Thalassia testudinum* y *Rhizophora mangle*, encontrando que las hojas de *Thalassia* muestran una captación elevada de Cu, Cr, Pb y Zn, en rizoma hay una captación significativa de Cr, Zn, pero de Pb, Ni y Cu muy poca captación. Además observaron que se encuentra mayor concentración en las hojas que en la raíz. Peter (1980), en un estudio que realizó en ecosistemas estuarinos dominados por *Thalassia testudinum*, observó el ciclo de metales traza, y también refirió que hay una captación de metales por las hojas, al igual que por la raíz. Botello (1983) en un estudio para la Laguna de Términos Campeche evaluó la concentración de MP en hojas y raíz de *Thalassia testudinum*, entre los que encontró: Cu, Mn, Ni y Zn. Nienhuis (1986), estudio los niveles de MP en 9 especies de pasto marino en Indonesia entre las que figura *Thalassia hemprichii* encontró que estas fijan metales como Cd, Cu y Zn, a través de sus hojas, por lo que, propuso su uso como indicadores de contaminación y biodisponibilidad de metales pesados. Guven *et al.* (1993), reportaron contaminación por metales pesados en cinco algas, una fanerógama *Zostera marina* y sedimentos de Bósforo, ubicado entre la salida del Mar Negro y Mar Egeo, donde, tanto sedimentos como *Z. marina*, muestran elevadas concentraciones de metales como Ag, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn. Otte *et al.* (1993) investigaron la relación entre la concentración de metales pesados en plantas y suelo de marismas, en la costa de Dutch, encontraron que la concentración de Zn, Cu y Cd en raíz y retoños de *Spartina anglica* fue superior en las plantas que en el sedimento. Finalmente, Malea *et al.* (1994), estudiaron las concentraciones de metales en el pasto *Posidonia oceanica*, del Golfo de Antikyra en Grecia, y encontraron acumulación de metales en las hojas, tales como Fe, Pb, Zn, Cu, Cd, Na, K, y Mg, debido a las descargas de aguas residuales. No obstante, la importancia que tienen las praderas de pastos marinos, se cuenta con poca información a cerca de las concentraciones de metales pesados, en particular para *Thalassia testudinum*, por lo que resulta importante elaborar estudios al respecto.

Frente al Puerto de Veracruz se localiza el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), el cual es el sistema arrecifal más extenso del Golfo de México (Figura 1). Este es muy importante desde el punto de vista socioeconómico, ya que el turismo, la pesca y la extracción de roca coralina con fines de construcción, así como de otros organismos con fines comerciales y artesanales, han sido actividades que han generado beneficio a la población humana del Puerto. Desafortunadamente estas actividades han sido la causa de un grave deterioro ambiental, lo cual se ha traducido en una merma de sus recursos naturales y cambios importantes en la

biodiversidad, estructura de la comunidad y el paisaje arrecifal (Vargas-Hernández *et al.* 1992). Al mismo tiempo, se ve altamente influenciado por las descargas de los ríos La Antigua, Jamapa y Papaloapan, los que transportan diversos contaminantes, entre ellos metales pesados, de centros urbanos, agropecuarios e industriales de la zona de Córdoba-Orizaba, principalmente. Las cuencas de cada uno de los ríos mencionados, reciben el vertido de las aguas residuales de la industria manufacturera, textil, metalúrgica, tabacalera y azucarera, los cuales llevan consigo metales como son el cobre, zinc, fierro, níquel y mercurio. Por lo anterior es plausible suponer niveles altos de estos, y otros contaminantes en el SAV (Vargas-Hernández *et al.* 1993 y 1994, Villanueva y Botello 1998). Asimismo, el drenaje pluvial de la ciudad de Veracruz, se vierte directamente al océano, sin ningún tratamiento previo, y la planta de tratamiento de aguas residuales resulta insuficiente para el volumen generado, por lo que es frecuente que los desechos urbanos e industriales se viertan sin consideración alguna en las inmediaciones de Playa Norte, muy cerca de los arrecifes La Gallega y Punta Gorda. Las actividades portuarias de carga y descarga de mercancías, las labores de mantenimiento del puerto y de los buques, así como el tráfico naviero que es muy alto, también representan un aporte de contaminantes el área.

Por lo anteriormente mencionado y dada la gran importancia de las comunidades de pastos marinos y tomando en cuenta la situación en que se encuentra el SAV por la influencia de las actividades humanas, se utilizó la especie de pasto marino *Thalassia testudinum*, en este estudio como organismo indicador que nos permitiera evaluar el grado de contaminación por MP en la zona, para definir la condición ambiental en que se encuentra el SAV. Se eligió esta especie por tener una amplia distribución a lo largo del Golfo de México, por ser organismos que frecuentemente se utilizan en este tipo de estudios y por tanto, permitirán poder realizar estudios de tipo comparativo en un futuro.

Por otra parte cabe remarcar la importancia de este trabajo ya que son muy escasos los estudios que se tienen, sobre metales pesados en *Thalassia testudinum*, para el Golfo de México y es el primero para el Sistema Arrecifal Veracruzano.

**Tabla. 1**  
Antecedentes de Concentración de Metales Pesados, en diferentes especies de pasto marino, y algas en concentraciones de ( $\mu\text{g/g}$ ) de peso seco.

Especie	h/r	Cu	Cd	Ni	Pb	Zn	Mn	Co	Cr	Fe	Referencia
<i>Rhizophora mangle</i>		2.8 - 0	--	9.7 - 1.3	3.0 - 5.8	3.9 - 3.6	--	--	1.1 - 23.3	--	Montgomery and Price 1979.
<i>Talassia testudinum</i>	h	0 - 25	--	0 - 45	0 - 6.0	--	--	0 - 7.0	0 - 80	--	
<i>Thalassia hemprichii</i>	h r	7.0 2.9	0.57 0.24	-- --	2.8 3	23 24	-- --	-- --	-- --	-- --	Nienhuis 1986.
Macro algas		4.4	0.4	2.5	1.1	5.4	7.4	0.5	--	43.4	Phillips 1991.
<i>Talassia testudinim</i>	h r	13 20	-- --	11 8	-- --	18 21	102 28	-- --	-- --	-- --	Botello 1993 no publicado
<i>Zostera marina</i>		39.8	2.33	17.4	32.1	91.2	45.0 8	7.85	13.6	--	Guven et al. 1993.
<i>Algae Enteromorpha compressa</i>		2.50	26.79	22.7	18.4	68.4	31.6 9	4.32	9.79	--	
<i>Posidonia oceanica</i>		2.8 - 148	2.7 - 44	--	10.5 - 123	27.1 - 97.7	--	--	--	--	Malea et al. 1994.

Nota: h = hoja, r = rizoma.

## OBJETIVOS

---

### OBJETIVO GENERAL

Determinar el grado de contaminación del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), con base en los niveles de MP en el pasto marino *Thalassia testudinum*.

### OBJETIVOS PARTICULARES

1. Determinar la concentración de Metales Pesados (Al, Cd, Cu, Ni, Pb y Zn) en follaje y rizoma de *Thalassia testudinum* de los siguientes arrecifes:

- A. Arrecife Isla Verde
- B. Arrecife Hornos
- C. Arrecife Gallega
- D. Arrecife Punta Gorda
- E. Arrecife Punta Mocambo
- F. Arrecife Chopas

2. Con base en las concentraciones de MP detectadas en *Thalassia testudinum*, definir si el Sistema Arrecifal Veracruzano se encuentra o no contaminado.

## DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

---

El área de estudio está ubicada en las inmediaciones del Puerto de Veracruz, se trata del Sistema Arrecifal Veracruzano (Figura 1). El SAV se divide en dos grupos (N y S), debido a la desembocadura del Río Jamapa. Los arrecifes de esta zona tienen un origen postglacial y se encuentran más cercanos a la costa, desarrollados sobre fondo de material bioclástico a unos 35 metros de profundidad. Los arrecifes presentan una zona bien definida, denominada planicie arrecifal, en la cual el sustrato dominante es arena de origen coralino, donde se presentan parches de pastos marinos, en la que especie más común y abundante es *Thalassia testudinum*.

Los arrecifes incluidos son:

**HORNOS**, es un arrecife tipo costero y se localiza a los 19° 11' 29'' N y 96° 07' 19'' W; abarca 1 Km de costa y en su parte más ancha mide 250m.

**ISLA VERDE**, es un arrecife tipo plataforma y se localiza a los 19° 11' 50'' N y 96° 04' 06'' W, a 5.37 Km de la costa; su eje más largo en dirección NW/SE con 1.12 Km y su parte más ancha mide 50m; su extremo sur presenta un pequeño cayo de 225m de longitud por 125 de anchura conocido como Isla Verde.

**LA GALLEGA**, es un arrecife tipo plataforma y se localiza a los 19° 13' 13'' N y 96° 07' 37'' W, actualmente se encuentra unido al puerto de Veracruz por una escollera construida a principios de siglo su eje más largo es en dirección NW/SE con 2.37 Km; en su extremo sur se encuentran construido el castillo de San Juan de Ulúa y una serie de edificaciones para el funcionamiento adecuado del puerto.

**PUNTA GORDA**, es un arrecife costero que se localiza a los 19° 14' 33'' N y 96° 10' 33'' W; abarca 3.8 Km de costa y en su parte más ancha mide 375m.

**PUNTA MOCAMBO**, es un arrecife tipo costero que se localiza a los 19° 08' 48'' N y 96° 05' 29'' W, abarca 2.5 Km de costa y en su parte más ancha mide 625m.

**CHOPAS**, es un arrecife tipo plataforma y se localiza a los 19° 04' 37'' N y 96° 57' 15'' W, a 3.25m de la costa; su eje más largo es en dirección NW/SE con 5 Km, en su parte más ancha mide 1.62 Km; en su extremo sur presenta un pequeño cayo conocido como Isla Salmedina. (Carricart y Horta, 1993), (Vargas-Hernández et al. 1993).





## MATERIALES Y MÉTODOS

---

### DISEÑO DEL MUESTREO

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) es el complejo coralino más extenso del Golfo de México. Es muy importante desde el punto de vista socioeconómico, ya que en la zona se pescan múltiples especies de peces, pulpo, caracol y almeja, además el arrecife es utilizado como un recurso recreativo por el sector turístico, e incluso la piedra coralina ha sido utilizada como material de construcción en el área (Vargas-Hernández *et al.* 1993). Por su cercanía a la costa y al puerto de Veracruz, el SAV se encuentra influenciado por el vertido de aguas de desecho, portuarias, industriales y domésticas que llevan consigo diversos contaminantes. Por otro lado el sistema también se ve afectado por los contaminantes que acarrea desde las zonas agropecuarias, urbanas e industriales el Río Jamapa, el cual desemboca directamente al SAV (Hernández y Tinoco---, Vargas-Hernández *et al.* 1992, Villanueva y Botello 1992). Por lo anteriormente mencionado, la zona costera de Veracruz se considera una de las afectadas por problemas de contaminación química, incluidos los MP (Botello *et al.* 1992). Para conocer el grado de contaminación del SAV, se eligieron varias localidades de muestro, que corresponden a algunos de los arrecifes, geomorfológicamente bien desarrollados que conforman el sistema. Los criterios de elección se mencionan a continuación. En primera instancia se eligieron arrecifes en los que, por su ubicación, es posible encontrar niveles altos de MP. Segundo, se eligieron arrecifes que por encontrarse más alejados de la costa, teóricamente presentarían niveles más bajos de contaminantes químicos. En la primera categoría se encuentran los arrecifes Punta Gorda, Hornos y Punta Mocambo, que son arrecifes de tipo costero, y el arrecife la Gallega que es de tipo plataforma (Carricart y Horta-Puga 1993). Hornos y Punta Mocambo se localizan en las áreas urbanizadas de la ciudad y reciben directamente las aguas de escurrentía fluviales, los turistas hacen uso del recurso sin restricción alguna y además en la zona de la laguna arrecifal del arrecife Hornos se encuentran los muelles de pescadores. El arrecife Punta Gorda, situado hacia la bahía de Vergara en lo que se conoce como playa norte, se ve influenciado por la descarga de la planta de tratamiento de aguas negras de la ciudad. Sobre el arrecife la Gallega esta construida la infraestructura portuaria, muelles, zonas de abastecimiento de combustibles, astilleros, almacenes, etc. (Vargas Hernández *et al.* 1992 y Horta-Puga, *et al.* 1998 in pres), y actualmente la parte SE del arrecife se esta rellinando para ampliar las instalaciones del puerto. En la segunda categoría se ubican los arrecifes Chopas e Isla Verde, el primero ubicado al sur y el segundo al norte de la desembocadura del Río Jamapa, lo cual posiblemente implique variaciones en los niveles ambientales de metales pesados por el régimen de circulación superficial oceánica en el área, el cual lleva un componente en dirección N - NW durante el verano y S - SW durante el invierno.

Los arrecifes pertenecientes al SAV, geológicamente hablando están bien desarrollados, y en ellos podemos encontrar las zonas geomorfológicas típicas como son: arrecife frontal, cresta arrecifal, planicie arrecifal y arrecife posterior (Horta-Puga, *et al.* 1998 *et al.* 1998 in pres). La zona de planicie arrecifal, es un área somera, donde la profundidad raramente excede los dos metros y aloja una comunidad muy diversa, la cual es altamente influenciada por las corrientes superficiales en el área. En esta zona la comunidad de pastos marinos está bien desarrollada, considerándose muy importante ya que son sitios de alta sedimentación, contribuyen a la estabilización del sustrato, además sirven como áreas de crianza, alimentación y protección para diversas poblaciones, por otro lado sirve de alimentación para una gran variedad de especies de invertebrados macrobentónicos (De la Lanza 1986, Dawes 1991). Esta comunidad está dominada por el pasto tortuga *Thalassia testudinum*, especie con una amplia distribución en el Atlántico tropical. La elección de esta especie para llevar a cabo la evaluación del grado de contaminación en el SAV, se debió a que se ha demostrado ampliamente que los pastos marinos tienden a acumular en el interior de sus tejidos MP, por lo cual pueden servir como indicadores de contaminación (Nienhuis 1986).

Cada arrecife se consideró una localidad de muestreo, totalizando seis arrecifes. De cada arrecife sólo se consideró la zona de planicie arrecifal, ya que es la zona donde están plenamente desarrolladas las comunidades de pastos marinos, en especial *Thalassia testudinum*. Para cada localidad se tomaron 10 muestras de la planta, el número de muestras se determinó considerando la posibilidad de análisis del laboratorio, tratando que el número de muestras fuera estadísticamente representativo para el estudio. Además se consideró incluir en el muestreo dos partes de la planta con características morfofisiológicas diferentes: rizoma y hoja. Así se colectaron un total de diez muestras tanto de hoja como de rizoma por cada arrecife, sobre la zona de planicie arrecifal en donde estuviera bien desarrollada la comunidad de pastos marinos, procurando obtener muestras dejando espacio de por lo menos 10 m entre cada una, lo que se consideró representativo de las condiciones generales de cada arrecife. Así el muestreo implicó un total de seis arrecifes (localidades), cada una con 10 sitios de colecta y por lo tanto muestras, y cada muestra consistiendo de dos partes de la planta, rizoma y tallo, haciendo un total de 120 muestras.

En cada muestra se determinó la concentración de los siguientes elementos metálicos Al, Cu, Cd, Ni, Pb y Zn, por espectrofotometría de absorción atómica, debido a que son algunos de los metales más utilizados por las actividades del hombre y se sabe que en altas concentraciones pueden ser tóxicos para la salud (Sadiq 1992), (anexo 1), lo que fue motivo para su determinación en este estudio.

## RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

La colecta de muestras se llevó a cabo en dos muestreos comprendidos en los meses de Abril, Mayo y Noviembre de 1998. Todo el material utilizado tanto para la colecta de las muestras como para el análisis elemental fue lavado

cuidadosamente para evitar su contaminación, debido a que el análisis es de alta precisión ( $\mu\text{g}$  y  $\text{ng}$  por gramo de peso seco de la muestra) y la contaminación por poca que sea en una muestra sobrestimaría la concentración real de elementos metálicos en una muestra. El material fue lavado con agua deionizada (AD), colocándose después en ácido nítrico al 7% durante 48 horas y posteriormente se enjuagó con AD (Horta-Puga, *et al.* 1998 in pres). La colecta se hizo manualmente, tomando 100 g de muestra aproximadamente. Sólo se seleccionaron plantas con apariencia saludable, y con la menor cantidad posible de material extraño adherido. Tanto las hojas como el rizoma fueron colectadas separándose del sustrato manualmente, o cuando era necesario auxiliándose de un cuchillo, asimismo fueron lavadas con agua del medio para eliminar al máximo posible material particulado previamente sedimentado sobre la planta. Cada muestra se colocó en una bolsa de polietileno debidamente etiquetada. Las muestras se congelaron con hielo seco ( $\text{CO}_2$  congelado) en un contenedor hermético para evitar su descomposición y poder trasladarlas al Laboratorio de Biogeoquímica de la UBIPRO en la FES Iztacala de la UNAM, donde fueron colocadas en un ultracongelador a  $-70^\circ\text{C}$  para su posterior tratamiento.

## PROCESAMIENTO

Cada muestra fue descongelada y lavada con abundante AD, eliminando material adherido en la superficie de las hojas y rizomas, se eligieron las hojas en mejor estado, es decir, sin zonas muertas y sin epifauna. Posteriormente cada una fue colocada por separado en cajas de Petri etiquetadas y se secaron en una estufa de laboratorio a  $70^\circ\text{C}$  por 48 h, luego fueron maceradas en un mortero de porcelana y se colocaron en bolsas de polietileno.

## DIGESTIÓN QUÍMICA

La digestión de muestras se llevó a cabo en un horno de microondas CEM MDS 2100 del laboratorio de Biogeoquímica de la UBIPRO. La técnica de digestión así como los ácidos se eligieron de acuerdo a la naturaleza de la matriz química de cada muestra, para la digestión tanto de hoja como de rizoma, se utilizó la técnica para hoja de cítricos citada en el manual del horno de microondas; ya que el tipo de matriz de las hojas cítricas es el más parecido, químicamente hablando, a las muestras de *T. testudinum* (CEM 1994). Se pesaron 0.5 g de cada muestra en una balanza analítica directamente en las cubetas de digestión. Cada muestra se analizó por duplicado, más un blanco por cada lote de 10 de muestras. La digestión química se hizo para liberar los elementos metálicos y convertir el metal asociado a las partículas, en una forma (normalmente metales libres) que pueda determinarse por espectrofotometría de absorción atómica. Cada muestra se digirió añadiendo 2 ml de AD, 5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado y 1 ml de HF concentrado. El programa de tiempos, temperatura y presión aplicados a cada muestra para la digestión se muestran en la Tabla 2. Cada muestra se llevó a un volumen final de 25 ml con AD en un matraz volumétrico, para luego transferirse a un frasco de polipropileno, donde se preservó hasta el análisis instrumental.

Tabla 2.

Programa de digestión del Horno de Microondas, para muestras de hojas y rizoma. (CEM 1994).

Paso	1	2	3
Poder	100	100	100
PSI	40	85	150
Rampa	6:00	6:00	10:00
Tiempo	3:00	3:00	5:00

PSI = libras de presión a las que se somete la muestra. Rampa = es el tiempo en que el equipo incrementa la presión. Tiempo = es el tiempo en que se mantiene constante la presión requerida.

## ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Las muestras se analizaron directamente por atomización a la flama (Al, Cu, Ni, Pb y Zn) o por atomización electrotérmica (Cd), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 880, acoplado a un horno de grafito Varian GTA 100, del laboratorio de Biogeoquímica de la UBIPRO. Las condiciones del uso del equipo para la evaluación de cada elemento se especifican en las tablas 3 y 4 (Rothery 1988). En todos los casos se utilizaron lamparas de cátodo hueco, específicas para la detección de cada metal a evaluar, también se realizó una curva de calibración utilizando soluciones estándar, preparadas a partir de una solución patrón certificada Sigma, de 1000ppm. En el caso del Al se utilizaron curvas de calibración muy altas.

Tabla 3.

Condiciones del EAA a la Flama

Parámetros	Al	Cu	Ni	Pb	Zn
Longitud de onda (nm)	396.2	327.4	232.0	283.3	213.9
Abertura de la banda (nm)	0.5	0.5	0.2	0.5	1.0
Tipo de Flama	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /aire	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /aire	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /aire	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> /aire
Absorbancia máx.	2.0	1.6	1.0	1.4	0.90

El límite de cuantificación del EAA, se obtuvo tomando en cuenta el nivel más bajo de la curva de calibración para cada metal, cabe mencionar que no se utilizaron mediciones menores al valor más bajo de la curva (Tabla 4). Se obtuvo el límite de detección para cada metal, sacando el promedio de la concentración de los

blancos, se sumó la desviación estándar al promedio y se multiplicó por tres, (Tabla 5).

**Tabla 4.**  
Límites de cuantificación de metales en el espectrofotómetro (EAA).

Método	h/r	Al	Cu	Cd	Ni	Pb	Zn
Flama $\mu\text{g/g}$	h	5	0.05	0.1	0.5	0.2	0.5
	r	5	0.1	---	0.1	0.5	0.5
Electrotérmico ng/g	r	---	---	0.2	---	---	---

Nota: h= hoja, r= rizoma

**Tabla 5.**  
Límites de detección de metales en el espectrofotómetro (EAA).

	Al	Cu	Cd	Ni	Pb	Zn
LD ( $\mu\text{g/g}$ )	83.5	0.022	0.47	0.11	1.32	1.67

La reproducibilidad de los datos se realizó con lecturas de absorbancia de una muestra de concentración conocida (usando un estándar de la curva de calibración) medida diez veces, obteniendo el promedio de la concentración obtenida (esto representó el 100%), se determinó la desviación estándar y se le restó al promedio, obteniendo así un porcentaje para cada metal (Tabla 6).

**Tabla 6.**  
Reproducibilidad de las mediciones para cada metal.

Al	Cu	Ni	Cd	Pb	Zn
99.4%	99.9%	99.9%	99.9%	99.6%	99.5%

En el caso de las muestras que no se analizaron a la flama, fueron analizadas electrotérmicamente en el horno de grafito debido a que el límite de detección a la flama es relativamente alto y las muestras presentaban concentraciones menores, y el límite de detección al horno de grafito (HG) es menor al de la flama. El HG, opera en condiciones diferentes a la flama; en este se hace el atomizado en tres pasos que son secado, calcinado y atomizado, con variantes de temperatura y tiempo en cada paso, de acuerdo a las características químicas de las muestras (Tabla 7).

**Tabla 7.**  
Condiciones del Horno de grafito para evaluar Cd en rizoma  
T °C y tiempo en seg.

Secado °c/t	85/5	95/60	120/10
Calcinado °c/t	300/10	300/30	300/2
Atomizado °c/t	1800/1	1800/2	1800/2

## PRESENTACIÓN DE DATOS

La concentración real se calculo en  $\mu\text{g}$  de metal por gramo de peso seco, tomando en cuenta los siguientes datos:

- las lecturas de absorbancia de cada muestra que se realizo por duplicado
- el peso seco de cada muestra
- el volumen total en que fue disuelta la muestra
- la concentración de metal a evaluar en los blancos

Mediante el siguiente calculo, se obtuvo la concentración real de cada muestra:

$$Y = [(x - cb) \times 25] / p$$

Y = concentración real de la muestra

x = valor promedio de la absorbancia

cb = concentración del blanco

25 = volumen en ml al que se diluyo la muestra

p = peso de la muestra en gr.

Se calcularon los parámetros como la media (X) y desviación estándar (S) de las muestras.

Para determinar la concentración de metales entre hoja y rizoma de *T. testudinum* se utilizo la prueba de Student-Newman-Keuls (SNK-Test) y para determinar las semejanzas entre arrecifes se hizo un análisis de varianza para datos no paramétricos sin distribución normal para ello se aplico una prueba de Mann-Whitney con ayuda del programa estadístico para computadora Sigma Stat ver.2.0 (SNK-Test). Para comparar un arrecife con otro se usó como medida de similitud el índice de distancia euclidea (IDE) y se le aplicó la técnica de ligamiento promedio simple con lo cual se construyó un dendograma. Los resultados se muestran en gráficas y tablas.

## RESULTADOS

Se presentan las concentraciones promedio y desviación estándar de MP expresadas en  $\mu\text{g/g}$  de peso seco, correspondientes a hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* para cada área arrecifal (Tablas 8 y 9). También se muestran, las concentraciones reales de MP en  $\mu\text{g/g}$  de peso seco para cada muestra con su replica para cada arrecife, Tablas 10-15 (Anexo 2).

Tomando en cuenta la presencia de MP por arrecife, en la hoja de *T. testudinum* se tiene que: para Al el arrecife que presenta concentraciones mayores es Punta Mocambo ( $87.4 \mu\text{g/g}$ ), seguido de Hornos ( $41.0 \mu\text{g/g}$ ) y Punta Gorda ( $23.4 \mu\text{g/g}$ ) mientras que para los otros arrecifes los niveles fueron no detectables (Figura 2), siendo el promedio total de  $50.6 \mu\text{g/g}$ . El Cu, se presenta más elevado en la Gallega ( $20.2 \mu\text{g/g}$ ) y Punta Mocambo ( $19.7 \mu\text{g/g}$ ), seguido de Hornos ( $17.7 \mu\text{g/g}$ ), y el resto de los arrecifes se encuentran por debajo de  $13.8 \mu\text{g/g}$  (Figura 3), teniendo un promedio total de  $2.8 \mu\text{g/g}$ . Cd, esta en mayor concentración en Hornos y Punta Mocambo ( $2.0 \mu\text{g/g}$ ) Chopas ( $1.8 \mu\text{g/g}$ ), mientras que para los demás los valores son menores, en Isla Verde ( $0.6 \mu\text{g/g}$ ), Punta Gorda ( $0.3 \mu\text{g/g}$ ) y no detectable en la Gallega. (Figura 4), presentando un promedio total de  $1.3 \mu\text{g/g}$ . Ni, se encuentra más elevado en Punta Mocambo ( $12.5 \mu\text{g/g}$ ), seguido de Hornos ( $10.2 \mu\text{g/g}$ ) y el resto de los arrecifes por debajo de los  $7.4 \mu\text{g/g}$  (Figura 5), siendo el promedio general  $7.7 \mu\text{g/g}$ . El Pb está presente en su nivel más alto en Punta Mocambo ( $17.2 \mu\text{g/g}$ ) y en el resto de los arrecifes las concentraciones son; Chopas y Gallega ( $10.5 \mu\text{g/g}$ ), Isla Verde ( $6.4 \mu\text{g/g}$ ), Hornos ( $6.2 \mu\text{g/g}$ ) y Punta Gorda ( $1.5 \mu\text{g/g}$ ) y el promedio general es de  $8.7 \mu\text{g/g}$ . (Figura 6). Por último el Zn, se encuentra más alto en Hornos ( $88.0 \mu\text{g/g}$ ), seguido de la Gallega ( $55.4 \mu\text{g/g}$ ) y Punta Mocambo ( $50.3 \mu\text{g/g}$ ) y en las demás zonas se encuentra por debajo de los  $22.5 \mu\text{g/g}$ . (Figura 7), siendo el promedio general de  $41.6 \mu\text{g/g}$ .

Las concentraciones por elemento en hoja de *Thalassia testudinum* fueron diferentes (SNK-Test,  $P=0.006$ ), lo que implica que existen metales que tienden a presentarse en mayores concentraciones que otros, siendo el orden jerarquizado de concentración el siguiente:

$$\text{Al} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd}$$

De la presencia de MP en rizoma de *T. testudinum* se tiene que: Al, sólo se encuentra en Punta Gorda ( $9.5 \mu\text{g/g}$ ), mientras que para los demás arrecifes los niveles fueron no detectables (Figura 2), siendo el promedio total de  $1.5 \mu\text{g/g}$ . El Cu, se presenta más elevado en Punta Mocambo ( $8.3 \mu\text{g/g}$ ), seguido de Hornos ( $7.6 \mu\text{g/g}$ ), y Punta Gorda ( $6.7 \mu\text{g/g}$ ), y el resto de los arrecifes se encuentra por debajo de los  $5.4 \mu\text{g/g}$ . (Figura 3), con un promedio total de  $1.4 \mu\text{g/g}$ . Cd, se encuentra no detectable para rizoma en todas las zonas (Figura 4). El Ni, se

encuentra más elevado en Punta Mocambo (2.6 µg/g), seguido de Chopas e Isla Verde (2.5 µg/g), y el resto de los arrecifes se encuentran por debajo los 2.4µg/g. (Figura 5), y el promedio general es de 2.2µg/g. El Pb presenta su nivel más alto en Chopas (13.8 µg/g), seguido de Isla Verde (10.0 µg/g), y La Gallega (7.4 µg/g). (Figura 6), siendo el promedio total de 7.5µg/g. Por ultimo el Zn, se encuentra más alto en Punta Mocambo (46.6 µg/g), seguido de la Gallega (35.8 µg/g) y Punta Gorda (33.5 µg/g) mientras que para los demás arrecifes los valores son menores a 31.2 µg/g. (Figura 7), y el promedio general es de 32.8 µg/g.

Las concentraciones por elemento en rizoma de *Thalassia testudinum* fueron diferentes (SNK-Test,  $P=0.001$ ), lo que implica que existen metales que tienden a presentarse en mayores concentraciones que otros, siendo el orden jerarquizado de concentración el siguiente:

$$\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Al} > \text{Cu} > \text{Cd}$$

Para determinar si existen diferencias significativas entre las concentraciones de MP en hoja con respecto a rizoma, se aplico la prueba estadística por rangos de Mann-Whitney y se encontró que si hay diferencia significativa de ( $P=0.034$ ) se tiene entonces que la mayor concentración de metales se encuentra en la hoja de *T. testudinum*.

En general la concentración promedio de MP para *T. testudinum* en el SAV es: Al (21.8 µg/g), Cu (11.9 µg/g), Cd (0.8 µg/g), Ni (6.3 µg/g), Pb (8.7 µg/g), y Zn (36.3 µg/g). (Tabla 16). Las concentraciones entre metales de *T. testudinum* (hoja y rizoma), fueron diferentes (SNK-Test,  $P=0.006$ ), así la tendencia de acumulación de MP fue la siguiente:

$$\text{Zn} > \text{Al} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd}$$

Para determinar si las concentraciones de MP eran similares o diferentes entre arrecifes, considerando las concentraciones promedio totales en *T. testudinum* para el SAV (hoja + rizoma), ver Tabla 16, se aplicó el análisis estadístico de Student-Newman-Keuls (SNK-Test), encontrándose que la diferencia es significativa ( $P=0.007$ ), lo que implica que los niveles de MP son diferentes. Considerando lo anterior, se hizo un análisis de agrupamiento, para encontrar si existe un patrón de distribución especial de los niveles de MP en el SAV. Los valores promedio de cada metal por arrecife, se utilizaron para comparar un arrecife con otro, usando como medida de similitud el índice de distancia euclideana (IDE). A la matriz de datos obtenida se le aplicó la técnica de ligamiento promedio simple, con lo cual se construyó el dendograma que se muestra en la figura 8. El análisis del dendograma arroja los siguientes resultados: se forma un primer grupo conformado por los arrecifes Chopas e isla Verde (IDE 1.34), que son los que presentan los valores más parecidos entre sí. También se puede apreciar un segundo grupo formado por los arrecifes Gallega y Hornos (IDE 2.04), con valores similares. Los otros arrecifes: Punta gorda y punta Mocambo



presentan valores de similitud promedio muy bajos lo que los sitúa como grupos independientes el análisis. De esta forma la región del SAV comprendida en el presente estudio puede ser dividida en cuatro zonas: A (Chopas e Isla Verde); B (Gallega y Hornos); C (Punta Mocambo); D (Punta Gorda), cada una con niveles diferentes de MP.

**Tabla 8.**  
Promedios  $\pm$  la Desv St de MP en  $\mu\text{g/g}$  de peso seco, en Hoja de *Thalassia testudinum*

Metal	Chopas	Gallega	Hornos	Punta Gorda	Punta Mocambo	Isla Verde	X	DesvSt
Al	ND	ND	41.0 $\pm$ 129.5	23.4 $\pm$ 74.0	87.4 $\pm$ 161.0	ND	50.6	33.0
Cu	8.1 $\pm$ 1.5	20.2 $\pm$ 2.2	17.7 $\pm$ 3.5	13.8 $\pm$ 5.4	19.7 $\pm$ 2.4	5.3 $\pm$ 2.0	2.8	6.2
Cd	1.8 $\pm$ 0.6	ND	2.0 $\pm$ 0.3	0.3 $\pm$ 0.6	2.0 $\pm$ 1.1	0.6 $\pm$ 0.2	1.3	0.8
Ni	7.4 $\pm$ 2.0	6.3 $\pm$ 0.7	10.2 $\pm$ 1.8	7.0 $\pm$ 3.2	12.5 $\pm$ 2.8	3.2 $\pm$ 1.1	7.7	3.2
Pb	10.5 $\pm$ 7.4	10.5 $\pm$ 2.6	6.2 $\pm$ 5.7	1.5 $\pm$ 2.3	17.2 $\pm$ 4.3	6.4 $\pm$ 5.0	8.7	5.3
Zn	20.9 $\pm$ 14.6	55.4 $\pm$ 5.4	88.0 $\pm$ 118.9	22.5 $\pm$ 9.9	50.3 $\pm$ 18.5	12.6 $\pm$ 3.0	41.6	28.4

**Tabla 9.**  
Promedios  $\pm$  Desv. St de MP en  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en Rizoma en *Thalassia testudinum*.

Metal	Chopas	Gallega	Hornos	Punta Gorda	Punta Mocambo	Isla Verde	X	DesvSt
Al	ND	ND	ND	9.5 $\pm$ 30.0	ND	ND	1.5	0
Cu	5.0 $\pm$ 1.3	5.4 $\pm$ 1.1	7.6 $\pm$ 3.5	6.7 $\pm$ 2.7	8.3 $\pm$ 2.1	3.6 $\pm$ 0.9	1.4	1.7
Cd	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ni	2.5 $\pm$ 0.7	1.3 $\pm$ 0.5	2.4 $\pm$ 0.6	2.1 $\pm$ 0.9	2.6 $\pm$ 0.5	2.5 $\pm$ 2.7	2.2	0.4
Pb	13.8 $\pm$ 4.4	7.4 $\pm$ 2.8	4.1 $\pm$ 4.7	6.3 $\pm$ 7.0	3.8 $\pm$ 5.1	10.0 $\pm$ 5.0	7.5	3.8
Zn	31.2 $\pm$ 20.3	35.8 $\pm$ 19.7	26.1 $\pm$ 19.4	33.5 $\pm$ 14.1	46.6 $\pm$ 10.2	23.9 $\pm$ 9.2	32.8	8.0

**Tabla 16.**  
Valores Promedio de Metales Pesados (en  $\mu\text{g/g}$ ), por arrecife.

	Chopas	Gallega	Hornos	Punta Gorda	Punta Mocambo	Isla Verde	X	DesvSt
Al	0.0	0.0	20.5	23.4	87.4	0.0	21.8	33.8
Cu	6.6	13.5	12.7	13.9	19.7	5.3	11.9	5.2
Cd	0.9	0.0	1.1	0.3	2.0	0.6	0.8	0.7
Ni	4.9	4.0	6.3	7.0	12.5	3.2	6.3	3.3
Pb	12.1	9.5	5.2	1.5	17.2	7.1	8.7	5.4
Zn	26.1	48.0	57.0	22.5	50.3	14.0	36.3	17.6

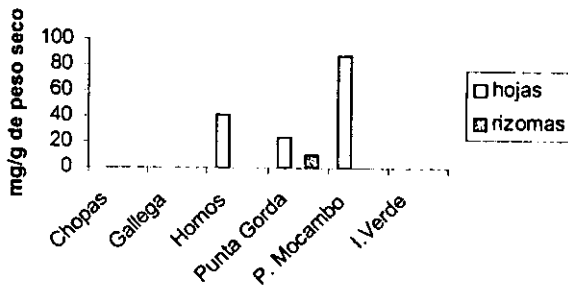


Fig. 2. Concentración de Al en *T. testudinum* del SAV.

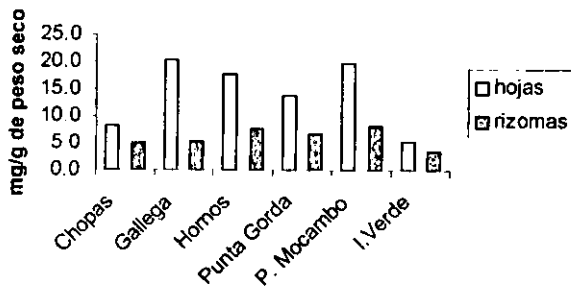


Fig. 3. Concentración de Cu en *T. testudinum* del SAV.

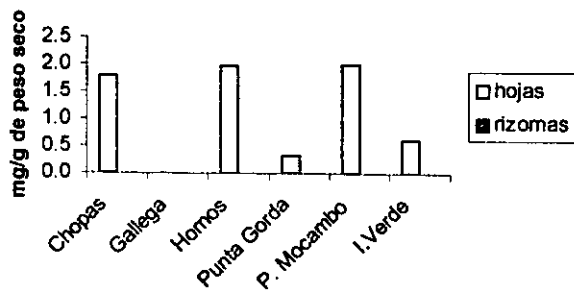


Fig. 4. Concentración de Cd en *T. testudinum* del SAV.

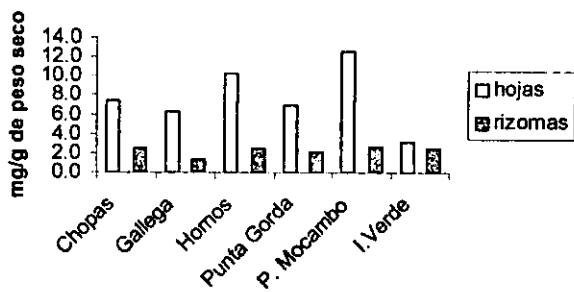


Fig.5. Concentración de Ni en *T. testudinum* del SAV.

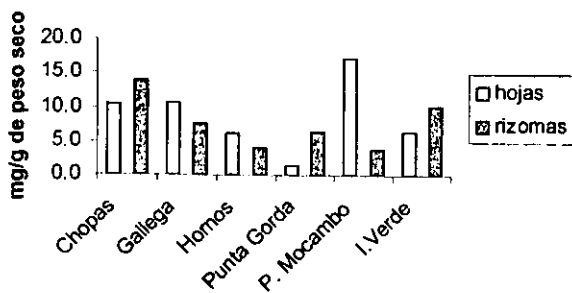


Fig.6. Concentración de Pb en *T. testudinum* del SAV.

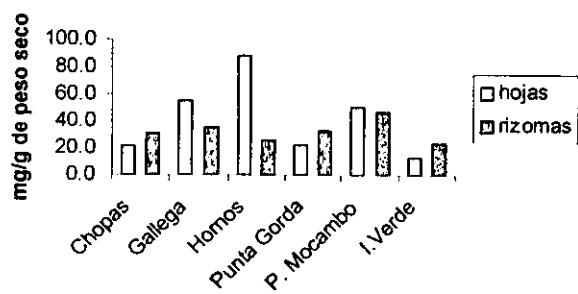


Fig.7. Concentración de Zn en *T. testudinum* del SAV.

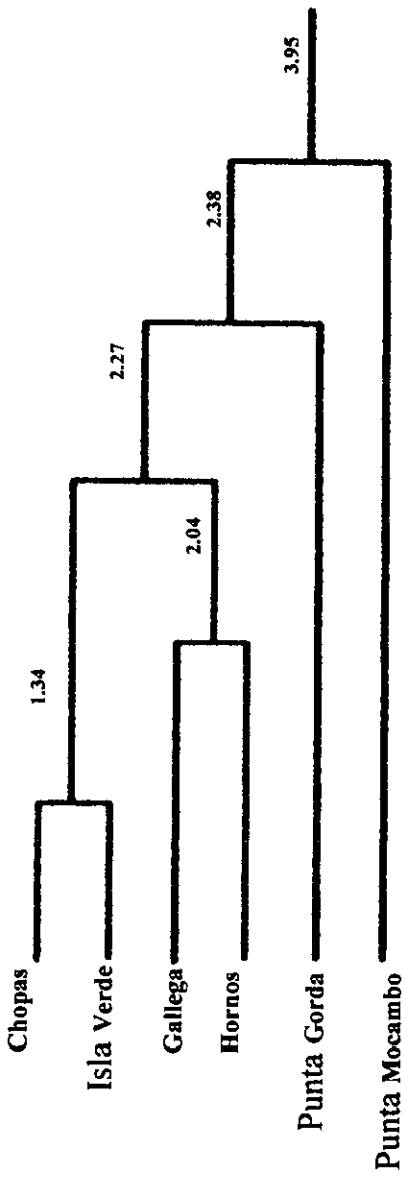


Figura. 8. Dendrograma de ligamento simple con distancia euclidean, muestra la diferencia entre arrecifes del SAV.

## DISCUSIÓN

---

Los MP son utilizados en grandes cantidades por el hombre en la industria y son vertidos al ambiente, elevando así, las concentraciones normales de metales en el mismo, lo cual representa un peligro para los organismos vivos incluyendo al hombre (Anexo 3).

Por tal motivo se han incrementado los estudios sobre MP en los organismos para detectar el grado de contaminación en el medio, y dar solución a los problemas ambientales además de prevenir accidentes como es el caso de este estudio para el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

Los pastos marinos como *Thalassia testudinum*, juegan un papel muy importante en el ambiente marino (Dawes 1991), algunos autores han reportado a los pastos marinos como acumuladores de metales del medio acuático en que se desarrollan (Schroeder 1980, Botello 1983, Brix y Lyngby 1983, Nienhuis 1986 y Güven *et al* 1993). Este tipo de estudios se ha llevado a cabo mayormente en la especie *Zostera marina* más que en *T. testudinum*, para esta última especie en zonas arrecifales son prácticamente nulos, por lo tanto se comparan los resultados de este trabajo, con datos reportados para otras especies de diferentes lugares.

Comparando con lo reportado por Shroeder en 1980, para una zona influenciada por los desechos de una refinería, que está afectando severamente a los pastos marinos en la Florida EE.UU, sus concentraciones de MP son bajas (Cu 3.9µg/g en hoja y 2µg/g en rizoma, Cd 1.3µg/g en hoja y 0.8µg/g en rizoma y para Zn 24µg/g en hoja y 16µg/g en rizoma), ya que las concentraciones encontradas en este estudio para el SAV, son más elevadas, por ejemplo para Punta Mocambo (Cu 19.7µg/g en hoja y 8.3µg/g en rizoma, Cd 2µg/g en hoja y el Zn 33.5µg/g en hoja y 50.3 en rizoma), (Tabla 17). Por otra parte, tenemos valores aun más elevados de Cu en hoja de *T. testudinum* en los arrecifes la Gallega (20.2µg/g), Hornos (17.7µg/g), Punta Mocambo (19.7µg/g), así como de Zn en todas las zonas arrecifales que lo observado por Botello en 1983 (Cu 13µg/g y Zn 18 y 21µg/g), para la misma especie en la Laguna de Términos Campeche. Las concentraciones de MP encontradas en este estudio para seis arrecifes son mayores a lo reportado por Nienhuis en 1986, para nueve especies de pastos marinos de ambientes estuarinos contaminados, en el mar de Flores Indonesia (Tabla 17). En este estudio *T. testudinum* en el SAV, presenta valores menores de Cu 20.2µg/g (valor más alto en la Gallega); Ni 12.5µg/g, (valor más alto en Punta Mocambo) y Pb 17.2µg/g (valor más alto en Punta Mocambo), que los reportados por Guven en 1993 (Cu 23.4µg/g, Ni 12.8µg/g y Pb 26µg/g), para una zona no arrecifal altamente contaminada, excepto por el Zn (48µg/g), que se encuentra más elevado en tres arrecifes de este estudio (55.4µg/g) en la Gallega, (88µg/g) en Hornos y (50.3µg/g) en Punta Mocambo, (Tabla 17). De acuerdo con

lo reportado por Malea en 1994, el Cu se presenta en mayor concentración en dos zonas del SAV con (20.2 $\mu$ g/g) en la Gallega y (19.7 $\mu$ g/g) en Punta Mocambo, ya que el autor reporta (Cu 18 $\mu$ g/g) y (Zn 43.4 $\mu$ g/g), este último se encuentra más elevado en la mayoría de los arrecifes de esta zona de estudio; mientras que Pb y Cd se presentan por debajo de los niveles reportados por el autor (Pb 39.5 $\mu$ g/g y Cd 20.8 $\mu$ g/g) para la especie *Posidonia oceanica*, en Grecia (Tabla 17).

Cabe mencionar que las técnicas utilizadas por los autores son parecidas a las utilizadas en este trabajo como son: la extracción de metales de las muestras con ácidos, como el clorhídrico y el nítrico, así como, la absorción atómica para medir las concentraciones de metales (Schroeder y Thorhaug 1980, Nienhuis 1986, Malea *et al* 1994), por lo que son un punto de referencia para comparar con las concentraciones obtenidas en este estudio para el SAV (Tabla 17).

De acuerdo con los datos mostrados en la Tabla 17 de los diferentes trabajos considerados como referencia para los resultados de este trabajo, se puede decir que la zona estudiada del SAV se encuentra con alto grado de contaminación por metales pesados.



Tabla. 17.

Concentración de MP ( $\mu\text{g/g}$  peso seco) en Pastos Marinos, del área de estudio y otras regiones.

Especie	Al	Cu	Cd	Ni	Pb	Zn	Referencia		
<i>Posidonia oceanica</i>	--	18	20.8		39.5	43.4	Malea 1994		
<i>Zostera marina</i>	--	23.4	1.9	12.8	26	48	Guven 1993		
<i>Cymodocea rotundata</i>	--	6.6	0.49	--	2	21	Nienhuis 1986	h	
		4.5	0.22	--	2.5	27		r	
<i>C. serrulata</i>	--	5.8	0.68	--	2.1	23		h	
		3.1	0.17	--	1.4	20		r	
<i>Thalassia hemprichii</i>	--	7	0.57	--	2.8	23		h	
		2.9	0.24	--	3	14		r	
<i>Syringodium isoetifolium</i>	--	3.9	0.16	--	2.6	15		h	
		6.8	0.16	--	6.1	19		r	
<i>Enhalus acoroides</i>	--	4.4	0.36	--	1.7	16		h	
		2.6	0.12	--	1.1	19		r	
<i>Halodule uninervis</i>	--	5.6	0.6	--	2.6	24		h	
		2.7	0.24	--	2.5	13		r	
<i>Thalassodendron ciliatum</i>	--	6	1.54	--	2.5	20		h	
		3.4	0.73	--	1.6	6		r	
<i>Thalassia testudinum</i>	--	13	--	11	--	18	Botello 1983	h	
		20	--	8	--	21		r	
<i>Thalassia testudinim</i>	--	3.9	1.3	6.9	9.1	24	Schoeder 1980	h	
		2.0	0.8	2.4	7.2	16		r	
<i>Thalassia testudinum</i>	0	8.1	1.8	7.4	10.5	20.9	Este estudio	h	Ch
	0	5	0	2.5	13.8	31.2		r	
	0	20.2	0	6.3	10.5	55.4		h	G
	0	5.4	0	1.3	7.4	35.8		r	
	41	17.7	2	10.2	6.2	88		h	H
	0	7.6	0	2.4	4.1	26.1		r	
	23.4	13.8	0.3	7	1.5	22.5		h	PG
	9.5	6.7	0	2.1	6.3	33.5		r	
	87.4	19.7	2	12.5	17.2	50.3		h	PM
	0	8.3	0.0	2.6	3.8	46.6		r	
	0	5.3	0.6	3.2	6.4	12.6		h	lv
	0	3.6	0	2.5	10	23.9		r	

nota: h= hoja , r= rizoma.

En cuanto a los niveles de MP acumulados por *T. testudinum*, hay que señalar que la mayor concentración se encontró en hoja y la menor en rizoma, la prueba estadística de Mann-Whitney, muestra que hay una diferencia significativa de ( $P=0.034$ ) (figuras 2-7), esto podría deberse a que los pastos marinos pueden fijar metales a través de las hojas, directamente del agua circundante y transferirlos de un lado a otro de la misma planta incluso de las hojas desecha los metales al agua, debido a ello hay mayor oportunidad de captación de metales por la hoja (Montgomery *et al* 1979, Lyngby, *et al* 1982, Malea 1994); mientras que a través del rizoma solo captan las fracciones de metales biodisponibles en los sedimentos que de ahí pueden ser transferidos a la hoja, esta actividad depende de factores geoquímicos y procesos biológicos como la actividad microbiana lo que hace que algunos metales queden en formas químicas fácilmente intercambiables en el ambiente marino (Brix y Lyngby 1983, Malea 1994, Hernández-Alvarez 1996). Por otra parte se conoce que los MP al contrario de los macronutrientes, muestran una limitada traslocación a través del sistema vascular de los pastos marinos (Lyngby, *et al* 1982, Nienhuis 1986); esto hace suponer que la mayoría de los MP encontrados en hoja de *T. testudinum* los ha captado del agua circundante y por ello, la mayor concentración de metales se encuentra en las hojas de la planta.

Según lo reportado para *Zostera marina*, el contenido de metales como Pb, Zn y Cu en la planta, reflejan el nivel de metales en el sedimento, mientras que el Cd refleja los niveles en el agua (Nienhuis 1986), estos metales tienen un comportamiento similar para *Thalassia testudinum*, donde el Cd fue N.D en rizoma, pero si se encuentra en hoja como se muestra en la Tabla 17, por un lado podría suponerse que las concentraciones de metales en *T. testudinum* reflejan la misma condición, en este caso para el SAV; por otro lado no se tiene prueba de que esto este pasando debido a que los datos no son suficientes para comprobarlo.

De acuerdo con la Secretaría de Marina (1988), estos metales (Al, Cu, Cd, Ni, Pb y Zn), son muy utilizados por algunas industrias en el puerto de Veracruz como son: Metales de Veracruz, Muelle de Pemex, Astilleros de Veracruz y Planta Empacadora de Alimentos Hédez, por lo que es probable que en los desechos de estas industrias se encuentren cantidades considerables de dichos metales, que posteriormente pueden depositarse en el mar, junto con las aguas residuales de la ciudad de Veracruz en un área cerca de los arrecifes Punta Gorda y La Gallega en Playa Norte, y aun cuando hay una planta de tratamiento de aguas en esta zona, no se da abasto para tratar toda el agua de desecho, por lo que parte de esas aguas son descargadas directamente al mar sin haber sido tratadas.

También, por observación personal se ha visto que la zona hotelera ubicada frente al puerto descarga directamente sus aguas de desecho directamente al mar, llevando materia fecal, además de otros contaminantes.

Por otra parte las actividades de dragado del canal del puerto, remueven importantes cantidades de sedimentos los cuales también contienen metales que han sido depositados junto con los sedimentos y materia orgánica en esta zona, al ser removidos por estos procesos, influyen poniendo a los MP en contacto con la biota marina; por otra parte las descargas de los ríos cercanos al SAV como son el Jamapa, La Antigua y Papaloapan arrastran altas cantidades de sedimentos llevados por las corrientes hasta los arrecifes trayendo probablemente grandes cantidades de metales, que son asentados con los sedimentos en los arrecifes, sobre todo en esta zona de estudio (Rosas *et al.* 1983, Hernández y Tinoco 1986, Rosales *et al.* 1986, Vargas – Hernández 1992, Horta-Puga y Rámirez Palacios 1996, Horta-Puga in pres).

Hay que señalar que la presencia de metales en los arrecifes estudiados se debe también a fenómenos como las corrientes marinas de la zona. El sistema de corrientes marinas es el patrón de dispersión que pueden tener los metales en el medio acuático (Mandelli, 1979). Hay dos principales corrientes en la zona que pueden afectar la dispersión de metales en el SAV y distribuir los desechos de la ciudad de Veracruz a los arrecifes: la corriente principal, determinada por la dirección del viento con dirección NO y su dirección cambia en época de "nortes" al SE, este fenómeno afecta además por que provoca gran remoción de sedimentos en toda la zona. Y la llamada corriente de la "Bocana del puerto", no presenta relación marcada con los vientos, presenta un comportamiento de "abanico", en marzo el 63% de la corriente proveniente de la bocana y se dirige al SE y S y el 37% al N y NO, en agosto el 54% se dirige al N, NO y NE, el 26% al E y el 18% al SO (Hernández 1982, Vázquez 1983).

De acuerdo a la comparación que se hizo con los valores promedio de MP por cada arrecife (Tabla 16), se muestra en el analisis de agrupamiento por el dendograma de ligamento simple (Figura 8), que si hay diferencia de niveles de MP entre los arrecifes del SAV, presentando cuatro zonas o grupos.

Como muestra el dendograma en la Figura 8, los arrecifes Chopas e Isla Verde forman un grupo, son dos zonas similares (IDE=1.34) que se encuentran separados del resto de los arrecifes estudiados y presentan los niveles más bajos de MP, esto se debe por un lado a la separación que tienen con la línea de costa ya que se encuentran a tres y cinco km de distancia y por otro a la distancia que tienen con la desembocadura del río Jamapa esto ayuda a que las condiciones de estos arrecifes sean diferentes y mejores a las otras zonas de estudio.

Los arrecifes la Gallega y Hornos, también son similares (IDE=2.04), forman un segundo grupo que presenta niveles de metales poco más elevados que el grupo anterior (Figura 8), por situarse cerca del puerto, se encuentran por un lado, influenciados por las actividades portuarias como son: los desechos de la ciudad y el dragado del canal de entrada de los barcos que resuspende los sedimentos, removiendo los metales que se encuentran en ellos; pero por otro lado, presentan niveles menores de metales que los otros grupos en el dendograma, formados por el arrecife Punta Gorda y el arrecife Punta Mocambo. La Gallega y Hornos

son dos zonas favorecidas por la corriente marina principal, que va hacia el norte y por la corriente marina de la bocana del puerto, ya ambas corrientes dispersan los contaminantes a otras zonas, afectando a otros arrecifes que son alcanzados por dichos fenómenos naturales. El arrecife La Gailega aunque se encuentra cerca a la desembocadura de la planta de tratamiento en Playa Norte (Figura1), se ve favorecido por ambas corrientes la principal y la de la bocana del puerto, llevando los contaminantes de las aguas que no alcanzan a ser tratadas en la planta, a otra zona más alejada de La Gallega, evitando así, que se concentren tanto los metales en este arrecife.

El arrecife Punta Gorda forma un tercer grupo aparte (IDE 2.27), se ubica un poco más al NE por lo que se ve más afectado por la corriente principal que va hacia el N, ya que esta, lleva los desechos de aguas industriales que probablemente contienen altas concentraciones de contaminantes (Secretaría de Marina 1988), debido a que la planta de tratamiento en Playa Norte no se da abasto (Figura1), por otro lado, este arrecife se encuentra ubicado cerca de la costa, por lo que es la segunda zona con el mayor nivel de MP en el grupo de arrecifes estudiados, lo cual se refleja en el dendograma de la Figura 8.

El arrecife Punta Mocambo forma el cuarto grupo, presenta la mayor diferencia entre los demás arrecifes (IDE 2.38), tiene el mayor nivel de MP en la zona estudiada, esto se atribuye a que se encuentra cerca a la desembocadura del Río Jamapa (Figura 1), lo cual muestra que el afluente del río esta desechando gran cantidad de contaminantes al sistema arrecifal, debido a que las corrientes del SAV van en dirección NO (Hernández y Tinoco 1986), llevando las descargas del río a los arrecifes del grupo norte, impactando primeramente al arrecife Punta Mocambo y más adelante al resto de arrecifes de la zona.

Una prueba de lo que esta pasando, es que el tipo de sedimento de los arrecifes que se encuentran frente al puerto de Veracruz, contiene mayor cantidad de materia orgánica y son sedimentos más finos, que los sedimentos del área de Anton Lizardo donde se encuentra el arrecife Chopas (Hernández y Tinoco 1986). Este tipo de sedimentos atribuyen a que contaminantes como los MP se concentren en mayor cantidad en el área arrecifal frente al puerto y por lo tanto se den estas condiciones en el arrecife Punta Mocambo.

La Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, establece las especificaciones para residuos peligrosos por su toxicidad al ambiente y fija los límites máximos permisibles para los elementos que a su consideración son altamente tóxicos y considera un máximo de 1.0µg/l para Cd, 5.0µg/l para Ni y 5.0µg/l para Pb, estos límites son un punto de referencia sobre lo que se considera contaminado.

Según las Normas Oficiales Mexicanas: que establecen las especificaciones sanitarias para productos de la pesca, la NCM -027-SSA1-1993 Pescados frescos, refrigerados y congelados; la NOM -029-SSA1-1993 Crustáceos frescos, refrigerados y congelados; la NOM -031-SSA1-1993 Moluscos Bivalvos frescos, refrigerados y congelados; y la NOM -129-SSA1-1995 Moluscos Cefalopodos y

Gasteropodos frescos, refrigerados y congelados, contemplan en la sección (contaminación por metales pesados), los límites máximos permisibles para los elementos que a su consideración son altamente tóxicos, y consideran un máximo de 0.5µg/g de peso seco para Cd y 1.0 µg/g de peso seco para Pb, son un límite de lo que se considera como contaminado.

La SEDUE establece las siguientes concentraciones de límites máximos permisibles de MP para Aguas Costeras: Cu 5.0 µg/l SEDUE 1986, Cd 0.9µg/l SEDUE 1990, Ni 8.0µg/l SEDUE1990, Pb 6.0µg/l SEDUE 1990 , Zn 10.0µg/l SEDUE 1990.

Según las concentraciones de metales que establecen las normas oficiales arriba mencionadas y de acuerdo a las concentraciones de metales encontradas en el pasto marino *Thalassia testudinum* de los arrecifes Chopas, Isla Verde, La Gallega, Hornos, Punta Gorda y Punta Mocambo, se puede considerar al SAV como contaminado.

Es importante recalcar que este estudio contribuye con datos importantes sobre el grado de contaminación por MP en la especie *Talassia testudinum* en áreas arrecifales para el Golfo de México y en particular para el Sistema Arrecifal Varacruzano es el primer estudio sobre pastos marinos y contribuye al conocimiento de la contaminación que existe en estos ecosistemas.

## CONCLUSIONES

---

- Las concentraciones de metales pesados en hoja y rizoma del pasto marino *Thalassia testudinum* de los arrecifes Hornos, La Gallega, Punta Gorda, Punta Mocambo, Isla Verde y Chopas son altas, por lo que se considera al SAV como una zona contaminada, en comparación con los niveles reportados en otras zonas por otros autores.
- Las concentraciones más altas de MP se encontraron en la hoja de *Thalassia testudinum*.
- Los metales que presentaron mayor concentración fueron: Zn, Al, Cu, Pb y el metal en menor concentración fué Cd.
- Los niveles más altos de metales se encuentra en el arrecife Punta Mocambo, seguido de Punta Gorda, y los niveles más bajos se presentan en el arrecife Chopas, seguido de Isla Verde como lo muestra el dendograma.
- La cercanía de los arrecifes a la ciudad y puerto de Veracruz son un factor causante de las condiciones ambientales que se presentan en el SAV, ya que los datos obtenidos en este estudio son una evidencia de dichas condiciones.
- Las concentraciones de metales pesados en los arrecifes Hornos, La Gallega, Punta Gorda, Punta Mocambo, Isla Verde y Chopas del Sistema Arrecifal Veracruzano, determinadas en base al pasto marino *Thalassia testudinum*, son altas por lo que se puede considerar al SAV como contaminado; de acuerdo con los Límites Máximos Permisibles que establecen las Normas Oficiales Mexicanas en el Diario Oficial de la Federación.
- De acuerdo con los datos obtenidos en este estudio se puede concluir que el Sistema Arrecifal Veracruzano se encuentra altamente contaminado por metales pesados.
- Se propone a la especie *Thalassia testudinum* como organismo indicador de contaminación por metales pesados, por ser la fanerogama más abundante en las costas del Golfo de México y el Caribe, y por su gran importancia ecológica en el ambiente marino.

## BIBLIOGRAFÍA

---

Álvarez, G. H., García, A.M., Tapia, G.M., Villalobos, Z. G., y Yañez, A.A. 1986. Prospección Ictioecológica en la Zona de Pastos Marinos de la Laguna arrecifal en Puerto Morelos, Quintana Roo. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México, 13(3). pp.317-336.

Badillo, G.F.J. 1986. Evaluación preliminar de la contaminación por metales pesados en el Río Blanco, Veracruz. Tesis. ENEP Iztacala. Univ.Nal. Autón. México.

Botello, V. A. 1983. Concentración de Metales Pesados en sedimentos recientes, hoja y rizoma de *Thalassia testudinum*, de la laguna de Términos Camp. np.

Botello, V. A., Ponce, V. G., Toledo, A., Díaz, G.G., y Villanueva, S. 1992. Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. Ciencia y Desarrollo. Vol. 17: 102. 28-48.

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: 165-181.

Butler, A. 1998. Acquisition and Utilization of Transition Metal Ions by Marine Organisms. Science. Vol.281: 207-210.

Carricart-Ganivet, J. P y Horta Puga, G. 1993. Arrecifes de Coral en México in Biodiversidad Marina y Costera de México. Salazar-Vallejo y González. CONABIO y CIQRO, México. 865pp.

CEM. 1994. Macrowave Digestión Applications Manual. Innovators in Microwave Technology.

De la Lanza, E.G y Tovilla H. 1986. Taxonomía y Distribución de Pastos Marinos. Universidad y Ciencia, Vol. 3, No.6.

Dawes, C.S. 1991. Botánica Marina. Limusa, pp. 501-527.

Díaz, M., Nava, V., Brizuela, L., Soto, E., Gitiérrez C., Moctezuma, M.G., y Acosta, I. 1996. Aislamiento de Hongos Resistentes a Metales Pesados a Partir de Desechos Mineros y su Capacidad de Remoción de Iones Metálicos y Flúor en Solución. Acta INAGEQ. 2: 253-257.

Diario Oficial de la Federación. 1997. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Ley que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales. (6 de Enero de 1997).

Diario Oficial de la Federación. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-027-SSA1-1993, Productos de la pesca. Pescados frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

Diario Oficial de la Federación. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-029-SSA1-1993, Productos de la pesca. Crustáceos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

Diario Oficial de la Federación. 1995. Norma Oficial Mexicana NOM-031-SSA1-1993, Productos de la pesca. Moluscos Bivalvos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

Diario Oficial de la Federación. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-129-SSA1-1995, Productos de la pesca. Moluscos Cefalópodos y Gasterópodos frescos, refrigerados y congelados. Especificaciones Sanitarias. Secretaria de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México.

Echariz, H.V. 1998. Determinación de los Niveles de Hidrocarburos en Agua, Sedimentos Recientes y Hojas de Pasto Marino *Thalassia testudinum*. (Koenig 1805) en tres Islas Arrecifales del Puerto de Veracruz. Tesis de Licenciatura. UNAM. Fac. Ciencias. 79pp.

Espina, S. y Vanegas. 1996. Ecotoxicología y Contaminación, pp69-106. In A. V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomeli. (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autonoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 50666pp.

Foul, E. C. 1990. Metal Carcinogenesis. Biological Effects of Heavy Metals. Vol. 1. CRC Press Boston.

Guyen, C.K., Saygi, N., and Ozturk, B. 1993. Survey of Metal Contents of Bosphorus Algae, *Zostera marina* and Sediments. Botanica marina. 36 (3), pp 175-178.

Guzmán, M. and Jiménez, E. 1992. Contamination of Coral Reefs by Heavy Metals along the Caribbean Coast of Central America. Vol.24. No.11. pp 554-561.



- Hernández, R.C. 1982. Algunos resultados del estudio de corrientes en la bocana del Puerto de Veracruz, Ver. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina, México.
- Hernández, A., Hernández, V., Botello, V.A., y Villanueva, F.S. 1996. Deterioro por Metales del Sistema Lagunar de Mandinga, Veracruz. Acta INAGEQ, (2) 307-312.
- Hernández, y Tinoco. 1986. Sedimentos del Sistema Arrecifal Veracruzano. Secretaría de Marina.
- Horta-Puga, G. J. 1995. Contaminación por Metales Pesados en Corales Escleractinios del SAV. pp. 1-72.
- Horta-Puga, G. J., Barba, S. G and Tello, M. J. 1998. The Status of the Veracruz Reef System in the Gulf of Mexico. In pres. pp.27.
- Horta-Puga, G.J. y Ramirez-Palacios. 1996. Niveles de Plomo en Esqueleto del Coral Arrecifal *Montastrea Annularis*, p. 363-367. In A. V. Botello, J.L. Rojas - Galaviz, J. A. Benítez. D. Zárate - Lomeli. (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 50666pp.
- Kabata-Pendias, A. 1991. Trace Elements in Soils and Plants. 2 de. PRESS. pp288.
- Lyngby, J. E., Brix, H. and Schierup, H. 1982. Absorption and translocation of Zn in eelgrass (*Zostera marina* L.). J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 58. 259-270.
- Mandelli, E. F. 1979. Contaminación por Metales Pesados. Rev.Com. Perm. Pacifico Sur, 10:209-228.
- Malea, P., Haritonidis, S., and Kevrekidis, T. 1994. Seasonal and local variations of metal concentrations in the seagrass *Posidonia oceanica* (L) Delile in the Antikyra Gulf, Greece. The Science of the Total Environment. 153. 225-235.
- Montgomery, R. and Price T. 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.
- Nienhuis, P. H. 1986. Background Levels of Heavy Metals in Nine Tropical Seagrass Species in Indonesia. Marine Pollution Bulletin, Vol. 17, No.11 pp.508-511.
- Otte, L.M., Haarsma, M. S., Broekman, R.A., and Rosema, J. 1993. Relation Between Heavy Metal Concentrations in Salt Marsh Plants and Soil. Environmental Pollution 82. 13-22.

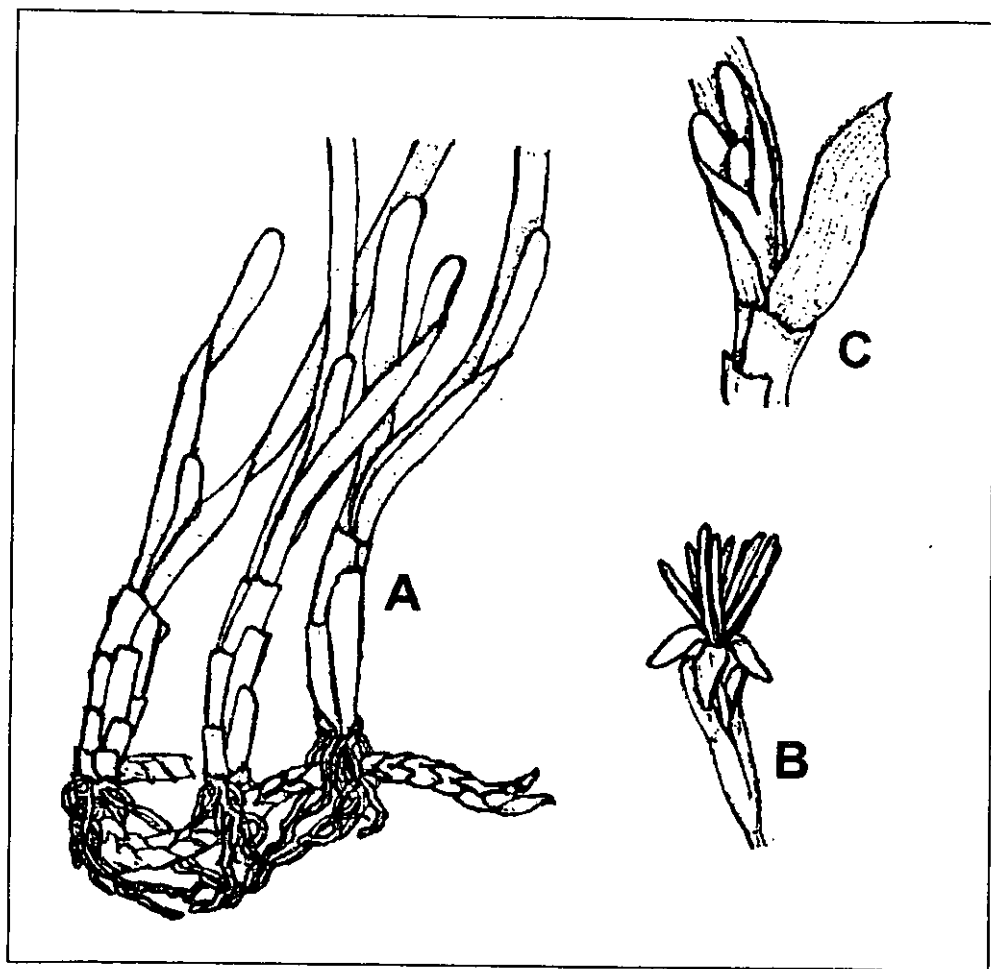
- Páez-Osuna, F. 1996. Fuentes de Metales en la Zona Costera Marina, pp. 297-308. In A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomeli. (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 50666pp.
- Phillips, H. J. D. 1991. Heavy Metals in Algae Around the Coast of Qatar. *Marine Pollution Bulletin*, 22(8) pp 414-416.
- Rosas, P.L., Baéz, A., y Belmont, R. 1983. Oyster (*Crossostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. *Air Soil Poll.* 20:127-135.
- Rosales, H.L., Carranza, E.A., y Alvarez, R.U. 1986. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River, México. *An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Auton. México.* 13:263-272.
- Rothery, E. *et al.* 1988. Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers. Varian Australia. pp. 191.
- Sadiq, M. 1992. Toxic Metal Chemistry in Marine Environments. New York. pp. 390.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1986. Reglamento para la prevención y control de la contaminación de aguas. Serie: Normatividad Ecológica, No. 4.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, 1990. Gaceta Ecológica. Vol. II. No. 6. enero.
- Schoeder and Thorhaug. 1980. Trace Metal Cycling in Tropical - Subtropical Estuaries Dominated by the Seagrass *Thalassia testudinum*. *Amer. Jour. Bot.* 67 (7): 1075-1088.
- Shumilin-Evgueni. 1996. Biogeoquímica de los Elementos Trasa en el Ambiente Marino. *Acta INAGEQ.* 2: 95-96.
- Solís-Weiss., y Carreño. 1986. Estudio Prospectivo de la Macrofauna Béntica asociada a las praderas de *Thalassia testudinum* en la Laguna de Términos, Campeche, México. *An. Inst. Cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. de Méx.* 13(3):201-216.
- Toledo-Ocampo, A. 1996. Marco Conceptual: Caracterización Ambiental del Golfo de México, pp1-24. In A.V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomeli. (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 50666pp.

- Tomlinson, B. P. 1969. On the Morphology and Anatomy of Turtle Grass, *Thalassia testudinum* ( Hydrocharitaceae). Bulletin of Marine Science, 16 (4).
- Tribble, W.G. 1981. Reef-Based Herbivores and the Distribution of two Seagrasses (*Syringodium Filiforme* and *Thalassia testudinum*) in the San Blas Islands (Weestern Caribbean). Marine Biology 65, 227-281.
- Vargas, Hdz. M., Hernández, G. A., y Sánchez, V. M. I. 1992. La Problemática del Sistema Arrecifal Veracruzano. Bol. Soc. Ver. Zool. 2(1):6-9
- Vargas, Hdz., Hernández, G. A., y Carrera, P. F. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. Biodiversidad Marina y Costera de México in Biodiversidad Marina y costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N. E. González (eds). Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México. 865pp.
- Vargas-Hernández, J.M. et al. 1994. La Problemática del Sistema Arrecifal Veracruzano, El Jarocho Verde, Red de Información Ambiental del Estado de Veracruz. 7: 3-4.
- Vargas-Maldonado, y Yáñez-Arancibia. 1987. Estructura de las Comunidades de Peces en Sistemas de Pastos Marinos (*Thalassia testudinum*) de la laguna de Términos, Campeche, México. an. Inst. cienc. Del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. de Méx. 14 (2): 181-196.
- Vázquez, C.A. 1983. Corrientes marinas en las cercanías al Puerto de Veracruz en febrero de 1980. Dirección General de Oceanografía. Secretaría de Marina , México.
- Viarengo, A. 1985. Biochemical Effects of Trace Metals. Marine Pollution Bulletin, 16:4. pp. 153-158.
- Villanueva, F. S. y Botello, A. V. 1992. Metales Pesados en la Zona Costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una Revisión. Rev. Int. Contam. Ambient. 8 (1), 47-61.
- Villanueva, F. S. and Botello, A. V. 1998. Metal Pollution in Coastal Areas of Mexico. Rev. Environ Contam Toxicol. 157: 53-94.
- Villanueva, F.S. y F. Páez-Osuna. 1996. Niveles de Metales en el Golfo de México: Agua, Sedimento y Organismos, p. 309-347. In A. V. Botello, J.L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomeli. (Eds). Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental. Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica, 50666pp.
- Yeon-Cho, et al. 1994. Studies on the Biosorption of Heavy Metals onto *Clorella vulgaris*. J. Environ. SCI. Health, A29(2). 389-409.

Young, K. and Young W. 1982. Macrobenthic Invertebrates in Bare and Seagrass (*Thalassia testudinum*) at Care Brow Cay, Belize. Rev. The Atlantic Barrier Reef Ecosystem at Carrier Bow Cay, Beliza. No. 12. Pp. 115-126.

## ANEXO 1

Morfología de *Thalassia testudinum*.



NOTA: A) Planta Vegetativa, B) Flores Masculinas, C) Flores Femeninas.

**TAXONOMIA.**

Familia: Hydrocharitaceae

Subfamilia: Thalassidiodeae

Genero: *Thalassia*

Especie: *testudinum*

Nom.común: Pasto Tortuga

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

## ANEXO 2

**Tabla 10.**  
Concentración de MP (Mg/g) en hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* de cada muestra con su  
replica y promedio Chopas.

MP	h/r	m	Conc.										Bcos. X	DesSt	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Al	H	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21.65	ND	ND
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16.39		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50.23		
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	50.23		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Cu	H	A	7.9	8.7	8	7.6	12	8.9	3.2	7.7		8.6	0.023	8.1	1.5
		B	8	6.9	8.7	7.4	11.6	8.7	8.8	7.8	6.7	8.5	0.014		
		P	8.0	8	8.0	8	8	8	8	7.8	6.7	8.6	ND		
	R	A	7.1	6.1		3.8	5.8	5.1	1.4	4.1	3.7	5.4	0.008		
		B	6.7	5.6	6.1	3.6	5.7	5.3	5.3	4.0	3.3	6.8	0.008		
		P	6.9	5.8	6.1	3.7	5.8	5.2	3.4	4.1	3.5	6.1	5		
Cd	H	A	1.4	1.3	1.9	1.5	2	1.9		1.4		1.5	0.03	1.8	0.6
		B	1.6	1.5	1.6	1.5	1.2	1.6	1.8	1.5	1.6	1.4	0.028		
		P	1.5	1.4	1.8	1.5	1.6	1.8	1.8	1.5	1.6	1.5	ND		
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.13		
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.13		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Ni	H	A	7.5	6.9	12	9.1	7.8	8.4	2.7	6.5	2.9	7.5	0.022	7.4	2
		B	8.3	7.2	11.9	8.5	6.1	6.9	7.5	6.5	6.5	6.5	0.006		
		P	7.9	7.1	12.0	8.8	7.0	7.7	5.1	6.5	4.7	7	ND		
	R	A	2.6	13.1	2.4	1.3	1.0	2.5	3.2	3	3.3	4.2	0.062		
		B	3.4	2.1	2	1.3	1.5	2.1	2.5	3.1	3.1	1.9	0.062		
		P	3.0	7.6	2.2	1.3	1.3	2.3	2.9	3.1	3.2	3.1	2.5		
Pb	H	A	6.9	22.2	9.6		12.1	10.4	44.5	3.6		5.8	0.013	10.5	7.4
		B	11.8	10.4	14.1	8.9	7.6	2.8	12.6	3.4	3.9		-0.051		
		P	9.4	16.3	11.9	8.9	9.9	6.6	28.6	3.5	3.9	5.8	ND		
	R	A	13.2	11.7	10.3	11.6	11.6	11.3	20.8	10.3	18.9	37	0.563		
		B	14.2	11.2		10.1	10.5	10.4	12.4	13.1	16.5	10.8	0.563		
		P	13.7	11.5	10.3	10.9	11.1	10.9	16.6	11.7	17.7	23.9	13.8		
Zn	H	A	12.2	ND	ND	23.4	58.3	22.5	5	16.7	52.5	25	0.897	20.9	14.6
		B	21.7			23.6	21	57.4	19.9	18.2	19.4	25	0.142		
		P	17.0	ND	ND	23.5	39.7	40	12.5	17.5	36.0	23.4	ND		
	R	A	19	15.4	27.1	37.7	14	65.3		14.4	19.3	63.8	0.092		
		B	14.9	10.5	30.1		12.8	70.7	37.1	16.6	17.6	62.3	0.092		
		P	17	13	28.6	37.7	13.4	68.0	37.1	15.5	18.5	63.1	31.2		

> H=h= hoja, R=r= rizoma, A= muestra, B= replica, P= promedio de cada muestra, 1-10= núm de muestras, Bcos=conc. de blancos.

**Tabla 11.**  
Concentración de MP (mg/g) en hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* de cada muestra con su  
replica y promedio para Gallega.

MP	h/r	m	Conc.										Bcos.	X	DesSt.	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Al	H	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	43.71	ND	ND
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	43.71		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	45.8	ND	ND
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	45.8		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Cu	H	A	18.5	21	24.1	20.8	21.2	21.4	18.2	18.3	16.7	21.2	0.016	20.2	2.2	
		B	18.5	21	24.3			21.2	18.8		16.8	22.1	0.016			
		P	18.5	21	24.2	20.8	21.2	21.3	18.5	18.3	16.8	21.7				
	R	A		5.1	5.1	1.9	7.5	7.8	6.1	6.1	5.1	5.6	0.015	5.4	1.1	
		B		5.7	5.1	7.3	7.5	8	6.6	6.4	5.1	5.7	0.015			
		P		5.6	5.1	4.6	7.5	7.9	6.4	6.3	5.1	5.7				
Cd	H	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.098	ND	ND
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.098		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.085	ND	ND
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.085		
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Ni	H	A	6.5	6.5	5.5	5.4	5.1	6.9	5.9	4.2	7.6	5.9	0.039	6.3	0.7	
		B	6.8	6.4	6	6.3			7.4	6.3	6.8	7.1	0.039			
		P	6.7	6.5	6.5	5.9	5.1	6.9	6.7	5.3	7.2	6.5				
	R	A		1.8	0.9	1.3	0.6	1.1	0.9	1.4	2.1	1.3	0.079	1.3	0.5	
		B		2	1.1	1	0.8	1.8	1.6	2.7	2.2	1.5	0.079			
		P		1.9	1.0	1.1	0.7	1.5	1.3	2.1	2.2	1.6				
Pb	H	A	6.4	8.2	5.3	13.2	12.7	14.1	10.3	9.3	13	13.7	0.112	10.5	2.6	
		B	8.4	9.3	5.3			13.5	10.6		11.9	9	0.112			
		P	7.4	8.8	6	13.2	12.7	13.8	10.5	9.3	12.5	11.4				
	R	A		8.7	9.5	3.3	3.5	7.3	6.8	10.3	11.4	9.5	0.566	7.4	2.8	
		B		11.8	6.3	3.8	6	10.9	6.9	10.4	13.4	8.7	0.566			
		P		10.3	7.9	3.6	4.8	9.1	6.9	10.4	12.4	9.1				
Zn	H	A	58	46.8	59.5	64.8	54.4	60.6	57.1	50.8	46.7	62.1	0.095	55.4	5.4	
		B	57.9	44.4	54.5			61.2	56.3		55.3	48.1	0.095			
		P	58	45.6	57.0	64.8	54.4	60.9	56.7	50.8	51	55.1				
	R	A		29.2	31.4	69.5	18.8	59.4	59.3	49.6	34.9	18.4	0.049	35.8	19.7	
		B		29.3	29.2	71.3	18.9	60.7	67.2	16.8	35.1	16.5	0.049			
		P		29.3	30.3	70.4	18.9	60.1	63.3	33.2	35	17.5				

> H=h= hoja, R=r= rizoma, A= muestra, B= replica, P= promedio de cada muestra, 1-10= núm de muestras, Bcos=conc. de blancos.



**Tabla 12.**  
Concentración de MP (Mg/g) en hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* de cada muestra con su  
replica y promedio para Hornos.

MP	h/r	m	Conc.										Bcos	X	DesSt			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
Al	H	A	0	473.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42.75	41	129.5		
		B	0	346	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42.75				
		P	0	409.6	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	42.75				
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.48			ND	ND
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.48				
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4.48				
Cu	H	A	16.6	17.6	18.4	20	17.5	18.2		20.9	22.1	19.8	0.015	17.7	3.5			
		B	16.1	19	18.2	19.1	17.7	0.0	16.8	17.5	23.1	20.4	0.015					
		P	16.4	18.3	18.3	19.6	17.6	9.1	16.8	19.2	19.2	22.6	0.015					
	R	A	5	4.3	5.7	4.2	4.0	12.6	12.2	12.2	9.2	11.4	0.019			7.6	3.5	
		B	4.5	3.8	4.6	4.6	3.9	10.9	6.1	11.4	9.1	12.4	0.019					
		P	4.8	4.1	5.1	4.4	3.9	11.7	9.2	11.8	9.2	11.9	0.019					
Cd	H	A	1.6	2.1	3.1	2.8	1.4	1.6	1.7	2.9	2.3	2.2	0.039	2	0.3			
		B	2	2.2	2	1.4	2.0	1.5	1.6	1.6	1.2	5.4	0.039					
		P	1.8	2.2	2.6	2.1	1.7	1.6	1.6	1.6	2.3	1.8	2.3			0.039		
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.134			ND	ND	
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.675					
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.675					
Ni	H	A	8.4	8.9	14.8	14.7	6.7	9.1	8.5	16.2	12.1	8.6	0.069	10.2	1.8			
		B	10.8	10	10	8.6	9.3	8.5	9.2	9.7	11.8	8.8	0.069					
		P	9.6	9.5	12.4	11.7	8.0	8.8	8.9	13	12	12	0.069					
	R	A	3.3	1.9	2.2	2.1	2.4	2.1	5	1.9	2.3	2.2	0.035			2.4	0.6	
		B	2.8	1.6	2.2	2.8	2.8	1.5	2.6	1.9	2.1	1.9	0.035					
		P	3.1	1.8	2.2	2.4	2.6	1.8	3.8	1.9	2.2	2.1	0.035					
Pb	H	A	5.4	3.1		12.3	ND	ND	ND	18.4	8.7	11	0.345	6.2	5.7			
		B	19.3	7.3	ND			ND	ND	2.1	12.4	12.3	0.345					
		P	12.4	5.2	ND	12.3	ND	ND	ND	10.3	10.6	11.7	0.345					
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	7.3	16.6	7	10.2	6.6	0.7			4.1	4.7	
		B	ND	ND	ND	ND	ND	3.6	8.4	7.1	6.9	8	0.7					
		P	ND	ND	ND	ND	ND	5.5	12.5	7.1	8.6	7.3	0.7					
Zn	H	A	ND	82.1	153.8	ND	ND	ND	ND	67.3	154.9	105.2	0.345	88.8	118.9			
		B		90.2	131.3	ND	ND	ND	ND	58.9	443.6	472	0.345					
		P	ND	86.2	142.6	ND	ND	ND	ND	63.1	299.3	288.6	0.345					
	R	A	6.1		21.3	10.4	19.6	33.5	74.7	21.6	42.6	27.2	0.908			26.1	19.4	
		B		13	11.2	15.2	15.2	29	70.5	20.4	41.6	29.2	0.908					
		P	6.1	13	16.3	12.8	17.4	31.3	72.6	21	42.1	28.2	0.908					

➤ H=h= hoja, R=r= rizoma, A= muestra, B= replica, P= promedio de cada muestra, 1-10= núm de muestras, Bcos=conc. de blancos.

**Tabla 13.**  
Concentración de MP (Mg/g) en hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* de cada muestra con su  
replica y promedio para Punta Gorda.

MP	h/r	m	ConC.										Bcos.	X	DesSt
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
Al	H	A	ND		219.8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	32.42		
		B	ND	ND	248.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
		P	ND	ND	234.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	23.4	74
	R	A	ND	ND	95.0	ND	ND	ND	ND		ND	ND	24.84		
		B	ND	ND		ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24.84		
		P	ND	ND	95	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9.5	30
Cu	H	A	8.4			11.2	9.4	8.1	9.2	10.7	7.4		0.014		
		B	19.7	19.2	ND	25.2	20.4	17	20.9	23.9	17	15			
		P	14.05	19.2	ND	18.2	14.9	12.6	15.1	17.3	12.2	15		13.8	5.4
	R	A	6.77	5.8	5.2	9.3	6.7	6.6	3.8	9.7	4	6.1	0.014		
		B	6.9	5.6	5.1	16.2	6.4	6.3	3.6	10.4	3.9		0.014		
		P	6.8	5.7	5.1	12.7	6.6	6.5	3.7	10.1	4	6.1		6.7	2.7
Cd	H	A	0.2		0.3	ND	ND	ND	0.1	ND	ND		0.032		
		B		1			ND					1.7			
		P	0.2	1	0.3	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	1.7		0.3	0.6
	R	A	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.653		
		B	ND	0.1	ND	0.1	0.1	ND	ND	ND	0.1		0.729		
		P	ND	ND	ND	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND	ND		ND	ND
Ni	H	A													
		B	4.5	4.7	6.9	9.5	ND	7.5	7.2	10.8	9	9.4	0.046		
		P	4.5	4.7	6.9	9.5	ND	7.5	7.2	10.8	9	9.4		7	3.2
	R	A	1.5	1.9	1.2	2.9	2.4	2.9	1	2.4	1.2	1.6	0.089		
		B	2.2	2.5	1.5	4.8	1.8	3.1	1	2.3	1.5		0.089		
		P	1.9	2.2	1.3	3.8	2.1	3	1	2.4	1.4	1.6		2.1	0.9
Pb	H	A	1.1		1	0.1	0.8	1.2	1.1	0.6	1.1		0.138		
		B	3.1	ND	ND							7.7			
		P	2.1	ND	0.5	0.1	0.8	1.2	1.1	0.6	1.1	7.7		1.5	2.3
	R	A	5.5	9.8	6.4	9.6	2.3	3.5	1.1	0.4	ND	5.1	0.618		
		B	9.5	9.9	8.1	7.8		43	0.5	0.5	0.5	ND	0.616		
		P	7.5	9.9	7.3	8.7	2.3	23.3	0.8	0.5	0.3	2.6		6.3	7
Zn	H	A	29	33.3	27.6	25.6	24.9	31.3	36.7	38.7	30.9	ND	1.465		
		B	8.7					8.2	1.4	27.1	18.2	21.8	ND		
		P	18.85	33.3	27.6	25.6	16.5	16.3	31.9	28.5	26.35	ND		22.5	9.9
	R	A	38.6	35.9	42.1	19	34.6	26.1	15.2	62.8	24.8	19.1	0.058		
		B	40	40	18.8	76.1	32.2	25.8	15.1	63	25		0.058		
		P	39.3	35.9	30.5	47.6	33.4	26	15.2	62.9	24.9	19.1		33.5	14.1

➤ H=h= hoja, R=r= rizoma, A= muestra, B= replica, P= promedio de cada muestra, 1-10= núm demuestras,  
Bcos=conc. de blancos.

**Tabla 14.**  
Concentración de MP (Mg/g) en hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* de cada muestra con su  
replica y promedio para Punta Mocambo.

MP	h/r	m	Conc.										Bcos	X	DesSt	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Al	H	A	366.8	ND	ND	ND		135.4	ND	301.3	ND		18.46			
		B	564.1	ND	ND	ND	ND			244.7	ND	ND	18.46			
		P	465.5	ND	ND	ND	ND	135.4	ND	273	ND	ND		87.4		161
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	76.18			
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	64.09			
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		ND		ND
Cu	H	A	21.8	18.8	18.1	20.1	19.2	19.4	22.7	21.6	21.2	15.5	0.016			
		B	22.7	18.5	15.1	20.1	19.2	18.8	23.2	21.4	20.3	15.3	0.016			
		P	22.3	18.7	16.6	20.1	19.2	19.1	23	21.5	20.8	15.4		19.7		2.4
	R	A	9.2	10.5	12.8	7.5	7.3	8.1	9	10.3	6.9	6.9	0.009			
		B	21.7	10.1	12.3	7	7.3	8	8.5	9.4	6.7	6.8	0.01			
		P	5.5	10.3	12.6	7.2	7.3	8.1	8.8	9.9	6.8	6.9		8.3		2.1
Cd	H	A	2.7	2.3	2.7	2.7	2.8	1.8	2.7	3.1	ND	ND	0.029			
		B	2.8	2.4	2.9	2.5	2.6	2.5	3.1	0.4	ND	ND	0.029			
		P	2.8	2.4	2.8	2.6	2.7	2.2	2.9	1.8	ND	ND		2		1.1
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	ND	0.116			
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	ND	0.238			
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.1	ND	ND	ND		ND		ND
Ni	H	A	14.3	12.7	12.4	13.8	13.8	9.07	9.8	18.1	11.7	9.4	0.059			
		B	14.6	12.1	11.8	13.8	14.8	9.3	12.3	18.3	8.3	9.2	0.059			
		P	14.5	12.4	12.1	13.8	14.3	9.2	11.1	18.2	10	9.3		12.5		2.8
	R	A	8.3	3.2		2.5	3	3.9	3.2	2.9	2.5	1.9	0.081			
		B	2.5	2.3	1.6	2.2	2.5	3.5	2.4	2.9	2.4	2.6	0.072			
		P	5.4	2.8	1.6	2.4	2.8	3.7	2.8	2.9	2.9	2.9		2.6		0.5
Pb	H	A	25.9	13.8	15.2	14.5	18.9		13.5	20	21.8	15.4	-0.068			
		B	26.1	11	17.3	13.5	18.3	22.2	19.5	18.1	4	13.6	-0.068			
		P	26	12.4	16.3	14	18.6	22.2	16.5	19.1	12.9	14.5		17.2		4.3
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11.4	7.3	12.9	9.7	0.775			
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2.4	9.6	9.3	13.9	1.16			
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	6.9	8.5	11.1	11.8		3.8		5.1
Zn	H	A	65.3	60.8	70.7	51.8	42.8	42.4	53.2	57.3		4.9	0.163			
		B	65.7	59.3		51.1	43.2	39.1	57.4	60.5	52.3	4.4	0.163			
		P	65.5	60.0	70.7	51.4	43	40.75	55.3	58.9	52.3	4.65		50.3		18.5
	R	A	50.1	56.3	47.3	55.9	49.9	49.6	48.4	43.1	48.5	20.9	0.081			
		B	49	56.5	45.2	54.9	50.5	50.8	48.2	40.7	47.4	19.3	0.081			
		P	49.6	56.4	46.3	55.4	50.2	50.2	48.3	41.9	48	20.1		46.6		10.2

h=hoja, R=rizoma, A= muestra, B= replica, P= promedio de cada muestra, 1-10= núm de muestras, Bcos=conc de blancos

**Tabla 15.**  
Concentración de MP (Mg/g) en hoja y rizoma de *Thalassia testudinum* de cada muestra con su  
replica y promedio para Isla Verde.

MP	h/r	m	Conc.										Bcos	X	DesSt	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
Al	H	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	32.42			
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		ND	ND	
	R	A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24.84			
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24.84			
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		ND	ND	
Cu	H	A	4.4	2.5	4	3.3	3.7	3.5	4.8	3.9		3.4	0.014			
		B	9	8.3	8.3	7.3	7.9	7	9.8	7.7		6.8				
		P	6.7	5.4	6.2	5.3	5.8	5.3	7.3	5.8		5.1	5.3	2		
	R	A	3.9	2.9	3.2	3.9	3.8	4.6	3.1	2.3	3.5	4.8	0.009			
		B	4.4	2.6	2.9	4	4	5.2	3.5	2.3	3.3	4.8	0.009			
		P	4.2	2.7	3	4	3.9	4.9	3.3	2.3	3.4	4.8	3.6	0.9		
Cd	H	A	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	0.032			
		B	1.1	1	1.1	1.3	1.1	1.1	1.9	1.2		1.2				
		P	0.7	0.6	0.7	0.8	0.8	0.6	1	0.6	ND	0.6	0.6	0.2		
	R	A	ND	0.1	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.579			
		B	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.942			
		P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
Ni	H	A	0.6	0.2	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	0.046			
		B	7.8	6	6.4	5.7	5.5	8.4	6.5	6.6		6.2				
		P	4.2	3.1	3.5	3.1	3	4.4	3.5	3.5	0.4	3.2	3.2	1.1		
	R	A	2.1	4	1.5	0.5	0.9	1.1	1.7	1.4	2.7	1.7	0.048			
		B	2	1.3	1.1	0.9	1	18.7	1.4	1	1.8	3.2	0.048			
		P	2.1	2.7	1.3	0.7	1	9.9	1.6	1.2	2.3	2.5	2.5	2.7		
Pb	H	A														
		B	5.3	5.3	3.7	7.1	4.2	4.5	20	6.8		7	0.138			
		P	5.3	5.3	3.7	7.1	4.2	4.5	20	6.8		7	6.4	5		
	R	A	6.5	31.9	7.6	4.6	6.1	4.7	15.3	9.9	18.5	15.1	0.375			
		B	8	7.4	3.3	7.6	3.3	7.6	13.7		7.3	12	0.375			
		P	7.3	19.7	5.5	6.1	4.7	6.2	14.5	9.9	12.9	13.6	10	5		
Zn	H	A														
		B	14.1	8.9	12.5	18.4	16.2	15.7	15.4	10.4		14.7	1.465			
		P	14.1	8.9	12.5	18.4	16.2	15.7	15.4	10.4		14.7	12.6	3		
	R	A	39.9	29.7	14.7	16.4	21.1	27.6	13.1	20.2	29.4	20.5	0.091			
		B	37.3	24.3	14.1	16	21.2	50.4	15	16.7	27.5	22.3	0.091			
		P	38.6	27	14.4	16.2	21.2	39	14.1	18.5	28.5	21.4	23.9	9.2		

H=h=hoja, R=r=rizoma, A = muestra, B = replica, P = promedio de cada muestra, t-10= num de muestras, Bcos=conc de blancos.

## ANEXO 3

---

### PROPIEDADES Y USOS

#### CADMIO(Cd).

Es un metal brillante de color plateado claro con matices azules, es un elemento de transición, que pertenece al grupo IIB de la tabla periódica. Esta limitado energéticamente a dos estados de valencia Cd (I) y Cd (II). Es raro encontrarlo en estado puro, ya que existe generalmente en combinación con oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) y azufre (sulfuro de cadmio).

El cadmio es utilizado frecuentemente en actividades industriales, en la fabricación de baterías, cales eléctricos, en diversas aleaciones con elementos como Cu, Al y Ag, medicinalmente sus sales (óxido y antranilatos), en recubrimientos metálicos, también se usa en la fabricación de vidrio, textiles, tinta para imprimir, caucho y laca.

#### TOXOCIDAD.

La toxicidad aguda produce salivación excesiva, náuseas, vómito persistente, dolor abdominal, diarrea, vértigo, inflamación y ulceración del tracto gastrointestinal, hemorragias, congestión e infarto del pulmón. Por inhalación de polvo produce recequedad de la garganta, dolor de cabeza y pecho, cansancio extremo, edema pulmonar y fibrosis, es un agente carcinogénico. (Horta-puga 1995, Vera-Aguilar 2000).

#### COBRE (Cu).

Es un metal rojizo brillante, se encuentra en la naturaleza en su estado elemental y también en los siguientes minerales:  $Cu_2Sb_4S_{13}$  (tetrahedrita),  $Cu_3AsS_4$  (energita), así como calcopirita, calcocita, bornita y antlerita.

#### TOXICIDAD.

Por si mismo el cobre es tóxico, en el hombre el sulfato de cobre es irritante para la piel y membranas mucosas. Los vapores de óxido de cobre pueden causar la fiebre del vapor metálico, se ha relacionado al cobre como posible causante de la hamatocromatosis.

#### NIQUEL (Ni).

Es un metal ferromagnético duro y brillante de color blanco. En estado libre se encuentra en meteoritos y también se encuentra en diversos minerales en la forma de: óxido, arsénico, sulfido, antimonio o silicato.

Se utiliza en trabajos de niquelado en diversas aleaciones para monedas, baterías eléctricas, magnetos, lámparas, electrodos, bujías, partes de maquinaria, en su mayoría se utiliza en la producción de acero inoxidable.

**TOXICIDAD.**

En el hombre su ingestión causa náuseas, vómito y diarrea. Puede ser de dermatitis, algunos compuestos de níquel son carcinogénicos.

**PLOMO(Pb).**

Metal muy suave y maleable, brillante de color plateado a gris. Se le encuentra principalmente como sulfuro en la galena y otros minerales:  $PbSO_4$  (anglesita),  $PbCO_3$  (cerusita), etc.

Se usa en materiales de envasado, tuberías, productos refinados del petróleo, procesos de halogenación, sulfonación, extracción y condensación, en materiales protectores de rayos x y radiaciones atómicas, en la fabricación de anilinas para pinturas, aleaciones metálicas para baterías, cerámica, plásticos y piezas electromecánicas, en la metalurgia y como ingrediente en la fabricación de vidrio.

**TOXICIDAD.**

En el hombre afecta principalmente a niños produciendo en fases agudas anorexia, vómito, malestar y convulsiones debidas a un incremento en la presión intracraneana. La exposición crónica al plomo produce pérdida de peso, debilidad y anemia, inhibe la síntesis de hemoglobina.

**ZINC(Zn).**

Metal brillante blanco azulado. Se encuentra naturalmente en  $(Zn,Mn,Fe)O$  ( $Fe,Mn_2O_3$  (franklinita),  $ZnAl_2O_4$  (gahnita), etc.

Se utiliza en diversas aleaciones como bronce, aluminio, plata alemana, como cubierta anticorrosiva, en aparatos eléctricos, baterías, utensilios caseros, materiales de construcción y equipo automotriz. Como agente reductor en la química orgánica, en la purificación de grasas y jabones.

**TOXICIDAD.**

Es un metal esencial en la nutrición, en el hombre la inhalación de sus vapores produce resequedad en la garganta, sensación de sabor dulce, tos, debilidad, cuerpo cortado, fiebre, náuseas, vómito. Los vapores de cloruro de zinc producen lesiones en la membrana mucosa e irritación de la piel (Horta-Puga 1995).