



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**Metales pesados en *Eichhornia crassipes*
de Chachalacas, Veracruz y
Melaque, Jalisco**

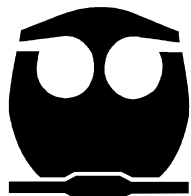
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O Q U I M I C O

P R E S E N T A:

JOSE ULISES CEDILLO RANGEL



MÉXICO, D.F.

2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente	Prof.	Liliana Virginia Raquel Saldivar y Osorio
Vocal	Prof.	Rafael Moreno Esparza
Secretario	Prof.	Ana María Martínez Vázquez
1er. Suplente	Prof.	Silvia Elena Castillo Blum
2° Suplente	Prof.	María Isabel Gracia Mora

Sitio donde se desarrolló el tema:

Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM

Asesor del tema:

Dra. Ana María Martínez Vázquez

Sustentante:

José Ulises Cedillo Rangel

Con toda mi admiración a la
mujer más valiente y
perseverante que he
conocido:

Celia Martínez Salas
Ejemplo de valor, fortaleza y amor a la vida

Al artículo 3º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que en su fracción IV y V establece el derecho a la educación pública y gratuita en todos los niveles educativos; porque gracias a esto he podido lograr mi desarrollo profesional.

Al pueblo de México que con su trabajo y esfuerzo diario hacen posible que exista la educación gratuita, dotando de anhelos y aspiraciones a las generaciones jóvenes que buscamos una sociedad más justa y equitativa.

DEDICATORIAS

Gracias por permitirme vivir la alegría de terminar esta faceta de mi vida dándome fortaleza. Tú que en silencio me has acompañado a lo largo de mi vida y sin pedirme nada a cambio, hoy me regalas la alegría de ver realizado uno más de mis sueños. Guíame día con día en el camino que lleva hacia ti.

A mi mamá, Irma Rangel, con la mayor gratitud por todos tus esfuerzos, tus desvelos, tus sacrificios para que yo pudiera terminar mi carrera profesional. Por las lágrimas que cayeron de tus ojos cuando tus sueños se quebraban. Por haberme dado todo y por enseñarme a luchar por lo que se quiere. Gracias por guiar mi camino y estar siempre junto a mí en los momentos difíciles. Mi triunfo es tuyo.

A mi papá, Alfredo Cedillo, porque desde pequeño has sido para mí un hombre grande y maravilloso, que siempre he admirado. Gracias por guiar mi vida con energía, esto es lo que ha hecho de mí lo que soy. Por esto y más, mi más profundo agradecimiento.

A mi hermana Alejandra, de quien estoy profundamente orgulloso. He llegado a aprender que no hay soluciones fáciles para problemas difíciles, que hay que luchar por lo que queremos y que éste, es apenas el comienzo de una vida; tengo plena confianza en que lo sabrás hacer de la mejor manera, confío en ti; valoro tu paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

A mis abuelos, Celia Martínez y Gregorio Cedillo, a quienes jamás encontraré la forma de agradecer el cariño, comprensión y apoyo brindados en las derrotas y logros obtenidos, haciendo de éste, un triunfo más suyo que mío, por la forma en que lo hemos compartido y sólo espero que comprendan que mis ideales, esfuerzos y logros han sido también suyos e inspirados en ustedes. Con todo mi cariño y admiración.

A mis abuelos, María del Refugio Téllez y Antonio Rangel, como un testimonio de mi infinito aprecio y agradecimiento, por toda una vida de esfuerzos y sacrificios, que con su ejemplo han orientado mi vida. Con todo cariño.

A mis amigos Alejandro Ramírez, Ernesto Ibarra, Gilles Lulu, Luz Eugenia Luna, Montserrat González, Oswaldo Martínez, Paola Gil, Rosa Valentina Vega, Salvador Eduardo Gámez, Sarai Santos, Víctor Manuel López, Zelindabeth Ruiz:

Gracias... lo único que acierto a decir es gracias por su amistad y todo el apoyo que me han brindado en el transcurso de mi vida, ya que han hecho más ligero y ameno mi camino, por las palabras de aliento escuchadas en los momentos más difíciles, les agradezco todo el amor, paciencia y comprensión para conmigo. Gracias por acompañarme siempre.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México porque a través de mi paso por sus aulas me permitió conocer el significado de palabras como lealtad, ética, calidad y profesionalismo; pero en especial por formarme un pensamiento crítico y libre para actuar con convicción y dignidad.

A la Facultad de Química UNAM, que me cobijó estos años con gran ahínco, por abrirme sus puertas y darme tantas enseñanzas, pero sobre todo por darme las armas para abrirme camino en la vida.

Al Instituto de Investigaciones en Materiales en donde realicé esta tesis, y por el apoyo brindado por el Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la DGAPA, por brindar el apoyo económico necesario para que este proyecto pudiera realizarse, mediante el proyecto IN228603-3.

A la Dra. Ana Martínez, que con atino dirigió este trabajo. Gracias por el apoyo y la confianza, por las enseñanzas, pero sobre todo por su disciplina y puntualidad.

Al Departamento de Estudios para el Desarrollo Sustentable de Zonas Costeras en Melaque, Jalisco de la Universidad de Guadalajara, por el apoyo logístico recibido para la recolección de muestras de la zona.

Al Instituto de Física UNAM por el apoyo en la realización de este trabajo, pero en especial a la Dra. Corina Solís Rosales por todas las facilidades brindadas.

Al Programa de Alta Exigencia Académica (PAEA) de la Facultad de Química, por su apoyo e incentivo para concluir mis estudios de licenciatura.

Al Ana's Team por permitirme divertirme en la realización de este trabajo, gracias Ana, Nicolás, Neto, Zeli, Job, Erick, Jon, Pau, Marco, Cristian, Humberto, Francisco y a los que no menciono también ya que día con día somos más. Gracias por su compañerismo, amistad y comentarios que llevaron a la culminación de este trabajo, que es una parte pequeña de la labor a la que hemos pertenecido y que encabeza Ana.

Al I.Q. Antonio Ortiz Ramírez, por su apoyo y consejos a lo largo de la carrera, que con sencillez y profesionalismo me ayudó a descubrir y canalizar habilidades que desconocía en mí. Gracias por su apoyo y disposición para perfeccionarlas.

A mis tíos Luz María Cedillo y Sergio Trejo por brindarme su cariño y apoyo siempre y en todo momento a lo largo de esta larga y difícil tarea, a mis primos Itzel, Omar y Bernabé por su apoyo, cariño y comprensión.

A mi tía Teresa Rangel, quiero agradecerle especialmente por su apoyo en momentos difíciles y por su ejemplo que me ha alentado a seguir adelante día con día.

A los futuros M. en I.: Martha Ramírez, Mayra Godoy, Luis Altamirano y José Luis Rodríguez; muchas gracias por su amistad y compañerismo. Les agradezco su enorme comprensión y apoyo que ha sido determinante en la culminación de esta etapa de mi vida.

A mis hermanos y amigos Karla, Gaby, Laura, Rigo y Vlado; gracias por darme la fortaleza y temple que nutrieron mi vida con un valor tan hermoso como la hermandad, por permitirme conocer de sus maravillosas vidas que me han transmitido grandes enseñanzas. Procuero llevarlos en mente y corazón... un equipo de muy alto desempeño.

A la Dra. Lilia Saldivar y al Dr. Rafael Moreno por su ayuda en la revisión de este trabajo y las observaciones que hicieron para mejorarlo.

Los débiles no luchan.
Hay hombres que luchan un día y son buenos.
Hay otros que luchan un año y son mejores.
Hay quienes luchan muchos años, y son muy buenos.
Pero hay los que luchan toda la vida...
esos son los imprescindibles.

Bertolt Brecht
(1898-1956)

INDICE

Dedicatorias

Agradecimientos

Índice

Resumen 2

Presentación 3

Introducción 5

 Metales pesados 7

 Toxicidad de los metales pesados 11

 Lirio acuático, *Eichhornia crassipes*. Buen Indicador 14

 Descripción del Área de Estudio 16

 Chachalacas, Veracruz 17

 Melaque, Jalisco 18

Antecedentes 21

 Revisión Histórica 23

 Niveles de metales en sedimentos de diferentes regiones de México.. 24

 Niveles de mercurio 24

 Niveles de plomo 26

 Niveles de cadmio 32

 Niveles de cromo 36

 Niveles de cobre 41

 Niveles de níquel 46

 Niveles de zinc 52

 Niveles de cobalto 57

 Niveles de hierro 61

 Niveles de manganeso 63

Hipótesis 66

Objetivos 66

Metodología	67
Parte experimental	70
Resultados	71
Discusión	90
Conclusiones	118
Anexo A	
Lirio acuático, <i>Eichhornia crassipes</i>	120
Anexo B	
PIXE (Particle induced X-ray emission)	125
Bibliografía	132

**“Metales pesados
en *Eichhornia crassipes* de
Chachalacas, Veracruz y
Melaque, Jalisco”**

RESUMEN

Se realizó la detección de metales en *Eichhornia crassipes*, lirio acuático, por medio de la técnica PIXE (Particle induced X-ray emission). Se consideró a la *Eichhornia crassipes* como un buen bioindicador, porque además de que absorbe y bioacumula metales pesados, es de fácil recolección, es abundante en las zonas de estudio y para su análisis por PIXE resulta fácil su tratamiento. En las muestras se determinó la concentración en partes por millón de vanadio, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, arsénico, selenio, bromo, rubidio, estroncio, zirconio, paladio, cadmio, mercurio y plomo. En este estudio se presentan las concentraciones promedio de tres muestras de lirio acuático recolectado en el mes de octubre de 2004 de tres sitios de la Laguna El Tule (Melaque, Jalisco), de un sitio de la Albufera de Barra de Navidad (Melaque, Jalisco) y de un sitio de Barra de Chachalacas (Veracruz). Para la determinación de la concentración de los metales en las muestras de *Eichhornia crassipes* se dividieron las muestras en raíces, bulbos y hojas. Al analizar las tendencias de la concentración de metales pesados en *Eichhornia crassipes* y en los cinco sitios muestreados, las raíces presentan mayor bioacumulación, siguiéndole las hojas y finalmente los tallos. Comparando las dos zonas de estudio, las mayores concentraciones de metales pesados se registraron en Chachalacas, Veracruz. Esto puede estar causado por las actividades petroleras e industriales, que son más intensas en esta zona que en la del Pacífico Mexicano. A Chachalacas en contaminación le sigue la Laguna El Tule, que en este sitio se atribuyen los altos niveles de metales al aporte de las descargas municipales de Cihuatlán. Barra de Navidad es el lugar menos contaminado.

PRESENTACIÓN

En los últimos años el deterioro del ambiente se ha convertido en uno de los temas que demanda soluciones prontas por nuestra sociedad. Esto se debe a que la contaminación del ambiente se ha agudizado desde la segunda mitad del siglo pasado, como consecuencia de las actividades humanas, con el riesgo que esto implica no sólo para la supervivencia de nuestra especie, sino de la vida en el planeta como hoy la conocemos.

El reto de hoy implica tomar acciones para que nuestra sociedad pueda vivir y convivir con los ecosistemas y su biodiversidad, aprovechando los recursos naturales para cubrir su sustento y su desarrollo, promoviendo la conservación de tal manera que las futuras generaciones también puedan disfrutar al menos del mismo entorno, del mismo ambiente, de los mismos recursos naturales, que aprovecha y conserva la generación actual. Así mismo, no se puede renunciar a que un porcentaje del territorio sea protegido de manera estricta, por su fragilidad, unicidad o belleza, con lo cual los beneficios serán indirectos.

El estudio y diagnóstico del estado que guardan los recursos naturales de los distintos ecosistemas se ha convertido en una de los principales instrumentos para la conservación de su biodiversidad, ya que permite monitorear y regular los efectos que tienen las actividades humanas sobre el ambiente. Así mismo permite obtener información que permita ejecutar acciones de prevención del deterioro de estos ecosistemas.

En nuestro país, los ecosistemas marinos y las zonas costeras tienen gran importancia, ya que existe una relación directa entre el estado que guardan sus recursos naturales y las actividades económicas que se desarrollan en las proximidades de estos ambientes. En estas zonas, se aplican políticas específicas dirigidas a su conocimiento, ordenamiento, jerarquización y su eventual aprovechamiento sostenible. Lo anterior trae como consecuencia directa, que en las zonas costeras se desarrollen diversas actividades que en el corto plazo

pueden ocasionar la degradación de los recursos naturales y de la calidad de vida de sus habitantes.

La presencia de metales pesados en altas concentraciones en los ecosistemas puede ocasionar problemas a los organismos que habitan en ellos y tener consecuencias en la salud pública, por lo que resulta imprescindible contar con un diagnóstico que permita verificar en el tiempo y en lo general, la evolución de los niveles de metales pesados en el territorio nacional.

En el presente trabajo se presenta un diagnóstico general y ordenado de la presencia de metales pesados en algunos ecosistemas costeros en el territorio nacional, con base en la recopilación de datos reportados previamente en la literatura y con un diagnóstico reciente.

De esta forma, dos aspectos resaltan en este trabajo. El primero consiste en la revisión de los datos reportados para ilustrar la evolución de la concentración de metales pesados en las zonas costeras mexicanas, para lo cual se realizó una comparación por regiones en cada estado estudiado. Cabe señalar que no es completamente válido comparar datos de diferentes sitios y en diferentes años, a pesar de estar dentro de la misma región, ya que habría que monitorear los mismos sitios periódicamente para tener una visión más precisa de lo que ocurre con los niveles de los metales; sin embargo, esta comparación resulta indicativa de la situación que han guardado las zonas costeras, permitiendo tener un diagnóstico general que resulta de suma importancia como punto de partida para el cuidado de los recursos naturales.

El segundo punto consiste en la determinación de la concentración de metales pesados en dos zonas costeras para tener resultados recientes. Para ello se utilizó lirio acuático, *Eichhornia crassipes*, ya que presenta biocumulación y se considera un bioindicador. Con esto se tendrá la información para elaborar un diagnóstico sobre el estado que guardan las zonas de estudio y se podrá comparar con otros datos previamente reportados.

INTRODUCCIÓN

La cantidad de elementos químicos que existen en la Tierra es constante, ya que no existe una fuente extraterrestre que nos abastezca de nuevos elementos, excepto por los ocasionales meteoritos. La continuidad de la vida en la Tierra depende entonces de su reciclaje adecuado. Los organismos vivos toman prestados los átomos que los constituyen. Incluso mientras que un organismo está vivo, la mayoría de su composición química se intercambia continuamente a través de la incorporación de nutrientes y el desalojo de desechos. Los elementos presentes en las moléculas de un organismo regresan a la Tierra, al tiempo de su muerte, a través de los organismos degradadores, transformándose de nuevo en su forma elemental o en otros compuestos. Este proceso restablece la concentración de los elementos en la superficie terrestre. Así se forman los ciclos bioquímicos, que son un proceso de reciclaje vinculado a la composición química de los compuestos y a las características físicas y biológicas de un ecosistema, en donde los elementos son intercambiados con trayectorias más o menos recurrentes desde el componente abiótico (suelo, agua y aire), hasta el componente biótico (plantas y animales). Los ciclos bioquímicos mantienen naturalmente un equilibrio. El problema surge cuando los elementos, por alguna razón se acumulan en algún lugar en el que antes no estaban. Esto mismo pasa con los metales conocidos como "pesados".

La contaminación por metales pesados tal vez tuvo su origen en la prehistoria, cuando el hombre descubrió que al fundirse juntos el cobre y el estaño producían bronce. Sin embargo, no fue sino hasta el siglo XIX, que el problema se tornó preocupante. Después del invento de la gasolina a finales del siglo XIX, la contaminación ambiental aumentó de forma logarítmica. La industria del petróleo dio la bienvenida a las máquinas de combustión interna y con la utilización de la gasolina arribaron a la biosfera una cantidad importante de contaminantes, entre los que se encuentran los metales pesados.

El estudio de la contaminación por metales pesados en las zonas costeras comenzó hace 51 años, después de un accidente ocurrido en la bahía de Minamata en Japón, en donde una fábrica de plásticos vertió desechos que contenían altas concentraciones de mercurio a las aguas de la bahía. El mercurio se acumuló en los peces y provocó que cerca de 100 personas se enfermaran, y docenas más murieran a causa de la ingestión de peces contaminados con el metal (Tovar, 2000).

En particular, el análisis de la contaminación en zonas costeras es de vital importancia debido a las características particulares de la zona. Las zonas costeras constituyen el diez por ciento de la superficie oceánica total e incluyen estuarios, lagunas, albuferas, mares y aguas marginales sobre la plataforma continental. A través de los ríos reciben aportes considerables de materiales continentales, que contienen también desagües domésticos e industriales. Esto los convierte en ecosistemas altamente vulnerables a problemas de contaminación.

En las zonas costeras se desarrolla una intensa actividad económica. Se realiza aproximadamente el noventa y nueve por ciento de la captura mundial de peces, mientras que el restante proviene de agua dulce (De León, 1987).

Debido a que son zonas de alta productividad y vulnerabilidad, se han elaborado una serie de trabajos de investigación para tener un mayor conocimiento y aprovechamiento de los recursos naturales, algunos de los cuales se enfocan en evaluar el impacto de las actividades humanas sobre estos ecosistemas marinos.

Al mar se le atribuye equivocadamente un alto poder de disolución, por lo que no es sorprendente pensar que puede absorber todos los desechos que se viertan en él. Sin embargo, la concentración de sustancias nocivas que se provoca por la ausencia de mezclado homogéneo pueden ser bioacumuladas por los seres vivos, como ocurre con los metales pesados, y entonces provocar problemas serios de contaminación.

El presente trabajo reporta los niveles de metales pesados por lo que a continuación se presenta de forma conceptual las características de estos elementos químicos, así como su relación y toxicidad en los organismos acuáticos y en el ser humano.

Metales pesados

Se denomina "metal pesado" a aquel elemento químico que posee una masa molar comprendida entre 63.55 y 200.59 g/mol y que presenta una densidad superior a 4 g/cm³ (Lavoisier, 2006). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01% (Ruiz, 2005).

Algunos metales como Cr, Cu, Ni, Zn, en bajas concentraciones son constituyentes naturales de los organismos, otros como el Cd y el Pb no forman parte de los organismos vivos y siempre representan un peligro (Tovar, 2000).

Para llevar a cabo sus funciones, los organismos vivos requieren de diversos iones inorgánicos esenciales como son: Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻. Otros iones pueden ser tóxicos y sin alguna actividad biológica asociada, (por ejemplo, los metales pesados Pb²⁺, Hg²⁺, Cd²⁺, Ag⁺), o bien, son esenciales, pero tóxicos cuando se encuentran en concentraciones relativamente elevadas (como Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Co²⁺) (Moreno, 1999).

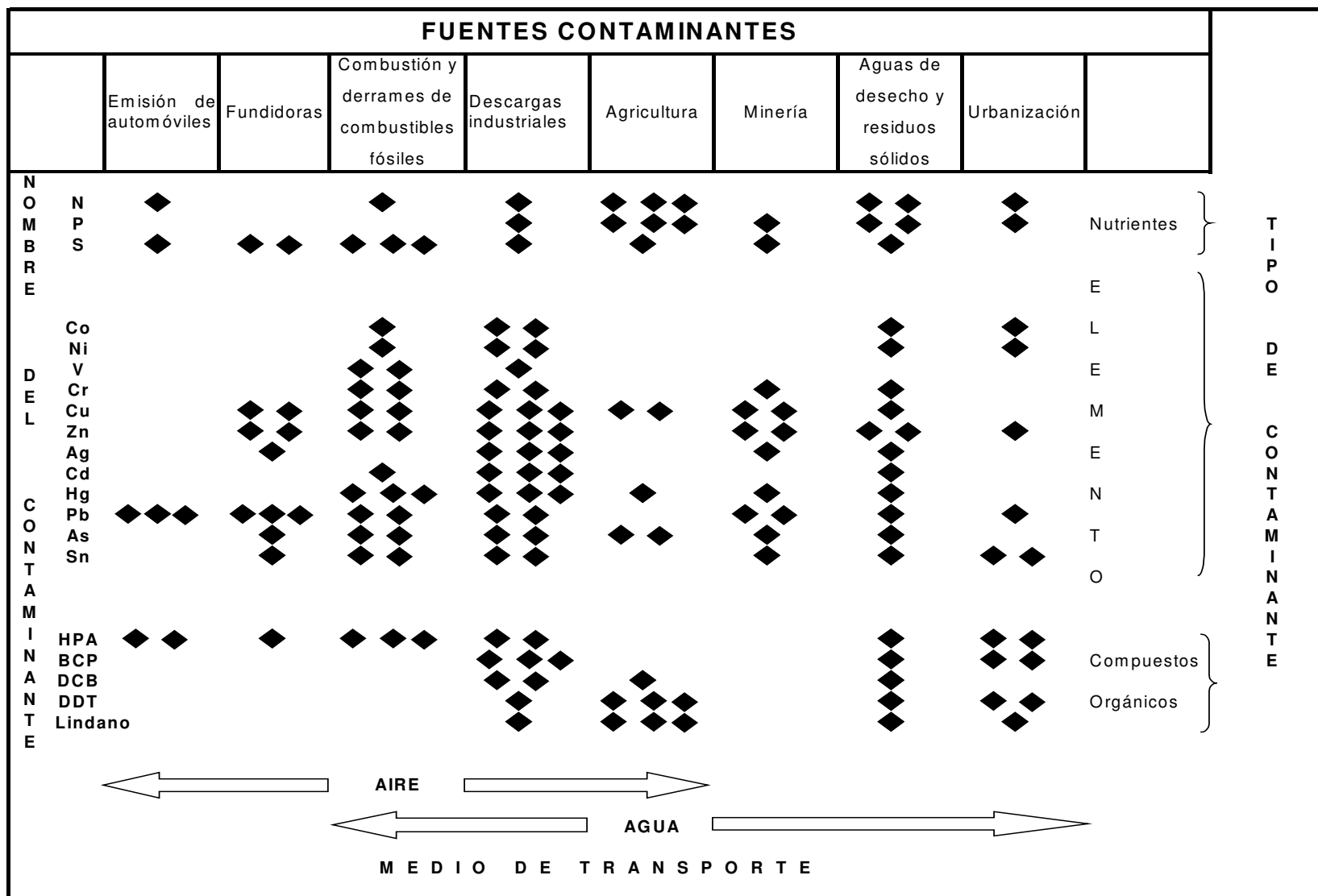
A diferencia de otras sustancias como los plaguicidas y los radioisótopos artificiales, de manera natural los metales pesados se presentan en el ambiente en concentraciones del orden de las partes por millón (ppm) y partes por billón (ppb). El problema surge cuando algunos de los elementos que a concentraciones naturales son benéficos o inocuos, exceden sus concentraciones naturales como producto de las actividades antropogénicas o naturales, convirtiéndose en elementos altamente peligrosos para los organismos. Esto se debe que la exposición a un exceso de metales pesados como Cd, Hg, Cr, Ni y

Pb para la mayoría de los organismos es extremadamente tóxica. Los iones metálicos tóxicos suelen penetrar a la célula a través de los mismos sistemas de captación que utilizan los iones metálicos fisiológicamente importantes como Ca, Mg, Cu y Zn (Moreno, 1999). Una vez dentro de la célula, no tienen la misma capacidad para reaccionar y por eso es las intoxican.

Las actividades domésticas e industriales han incrementado los niveles de metales en el ambiente. Esto es el resultado de perturbaciones originadas por las actividades humanas como los efluentes industriales, las descargas residuales, los residuos de fertilizantes y la combustión de combustibles fósiles. También influyen los fenómenos geológicos, que son los principales procesos responsables del aumento de los metales en el ambiente. En la Figura 1 podemos observar una estimación de la importancia relativa que tiene el aporte de contaminantes por diferentes fuentes de contaminación. En ella se considera que los principales aportes de contaminación por metales pesados son las descargas industriales, siguiéndole gradualmente la combustión y los derrames de combustibles fósiles.

Los ecosistemas acuáticos costeros, pero sobretodo los esturianos y lagunares, forman parte de una intrincada red de relaciones físicas, químicas, atmosféricas y ecológicas. Cualquier acción que se lleve a cabo en alguna parte de sus subcomponentes, tendrá un efecto nocivo en estos ecosistemas. De esta manera, las modificaciones generadas por una agricultura en las tierras altas, los cambios en los drenajes naturales hidrológicos, la tala inmoderada alrededor de la cuenca, los trabajos de dragado, el mal uso de fertilizantes en campos de cultivo aledaños, el empleo de plaguicidas sin un estricto control, la conversión de tierras costeras en cultivos monoespecíficos, la construcción de estanques para una acuicultura y el despojo de habitats a la fauna, entre otros, son algunos de los problemas más comunes que se tienen que enfrentar en las zonas litorales (Contreras, 1993).

Figura 1. Fuentes de Contaminación



HPA = Hidrocarburos poliaromáticos
DDT = Dicloro difeniltricloroetanos

DCB = Difenil clorobencenos
◆ estimación de la importancia relativa de cada fuente

BCP = Bifenios Policlorados

(Valette - Silver, 1993)

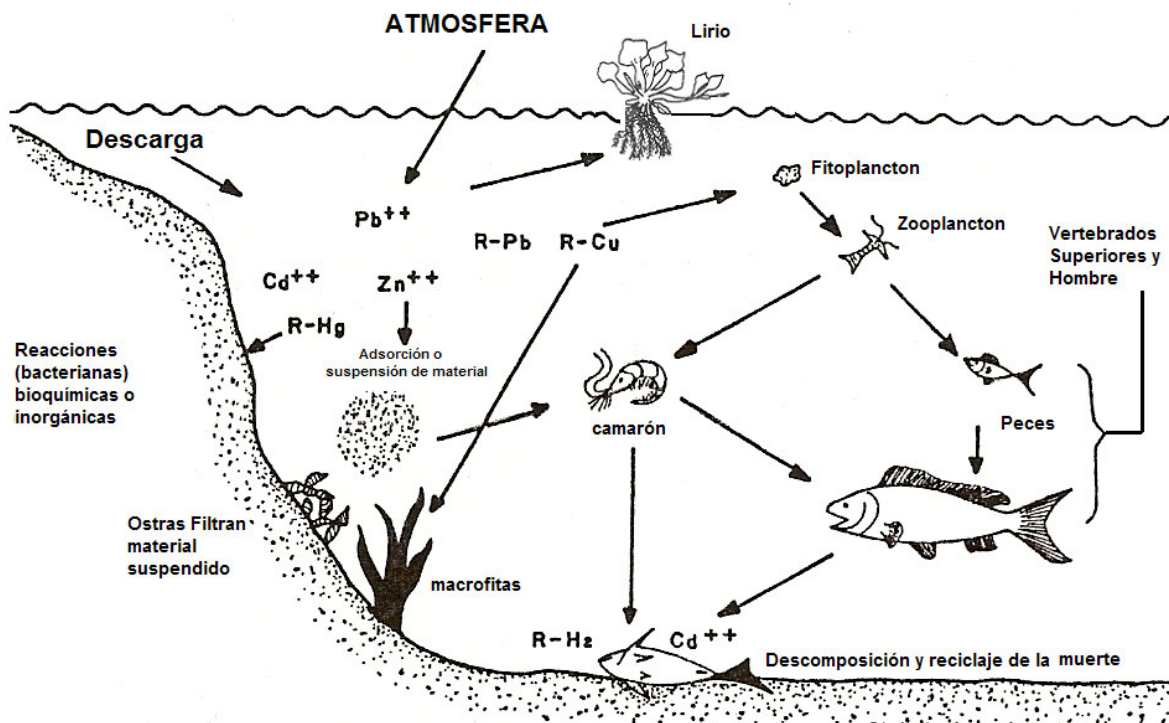


Figura 2. Posibles rutas e interacciones de los metales pesados en zonas marinas (Elaboración basada en el esquema presentado por Ríos, 1993 y Villanueva - Botello, 1998)

Las vías de entrada de los metales pesados a un cuerpo de agua pueden ser residuos industriales, la lluvia ácida que agrieta los suelos permitiendo así la entrada a las aguas subterráneas; o simplemente porque la lluvia arrastra los metales y los deposita en corrientes, lagos, ríos y otros cuerpos de agua. En los cuerpos de agua se desencadenan una serie de interacciones con el medio como se observa en la figura 2, en la cual se muestra que posterior al aporte de metales pesados por una descarga hidrológica o bien a través de la atmósfera, el camino que siguen los metales se entrelaza con la cadena alimenticia, ya que son tomados por los primeros eslabones (macrofitas, fitoplancton, lirio, ostras, camarones) en compañía de su alimento pasando, hasta los niveles superiores de la cadena trófica en la cual se encuentran recursos que consume el ser humano y otros vertebrados superiores.

Toxicidad de los metales pesados en organismos acuáticos y en el ser humano

Los seres humanos pueden tener contacto con los metales pesados tóxicos por múltiples conductos. De forma directa éstos pueden llegar a los alimentos procedentes de diversos orígenes, como son los suelos de cultivo, aguas, fertilizantes, altas concentraciones en el aire cerca de las fuentes de emisión, o bien proceder de los contenedores y utensilios empleados en la fabricación, almacenamiento y preparación de los alimentos (Vidal, 2004).

La captación y toxicidad de metales pesados en los organismos acuáticos se ve influenciada por factores fisicoquímicos y biológicos, así como por el tiempo de exposición y la concentración, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores que afectan la química y que influyen en la toxicidad de los metales en el ambiente acuático (Páez, 1996).

Variables	Comentarios
pH, alcalinidad, ligandos orgánicos e inorgánicos	Cambios en la distribución de las especies que influyen en la formación de complejos; cambios en la capacidad de adsorción.
Densidad de organismos	Reduce la disponibilidad de metales y cambia la distribución de las especies a causa de la adsorción sobre las superficies celulares y/o por acomplejamiento de los exudados de la biota.
Concentración de partículas y coloides	Los metales son secuestrados por partículas de óxido de hierro, manganeso y aluminio, y de las arcillas.
Potencial Redox	Afecta el estado de oxidación de los metales y con ello la biodisponibilidad; la metilación y la movilización de ciertos metales como el manganeso, lo cual frecuentemente ocurre más fácilmente en potenciales REDOX reductores.

Los factores fisicoquímicos involucran a todos aquellos parámetros que afectan a la química de los metales y de otros contaminantes (plaguicidas e hidrocarburos del petróleo), como se muestra en la Tabla 1. Los factores biológicos tienen relación con los efectos de los metales y están estrechamente vinculados con las condiciones propias de los organismos como son la edad, la talla, el peso, el sexo, la capacidad de adaptación y los hábitos alimenticios, entre otros.

La principal vía de acceso de los metales pesados a la cadena alimenticia es a través de los organismos fotosintéticos. Al ser el primer eslabón, son alimento de otros organismos incluido el ser humano. Una vez que son tomados los metales pesados por los organismos fotosintéticos, ocurre la bioacumulación. Es por esto que son fuente de metales pesados para quien los ingiere. La presencia de metales pesados es cada vez más frecuente en alimentos de la dieta del ser humano. Los metales de mayor interés por su alta toxicidad son: mercurio, cadmio y plomo.

El mercurio es un metal ampliamente distribuido en el ambiente debido a las emisiones naturales y a su utilización por el hombre desde la edad antigua. En el ambiente se puede encontrar como mercurio metálico, formando parte de una sal inorgánica o como un compuesto organomercurial. La presencia de una u otra forma depende de diversos factores, y además tanto en el ambiente como en los organismos se pueden transformar unas en otras mediante reacciones de óxido reducción y de metilación, reacciones en las que pueden intervenir algunos microorganismos. Cuando la cantidad de mercurio ingerida en forma de sales inorgánicas es elevada, el riñón es el principal órgano afectado, aunque también se depositan cantidades apreciables en el hígado y los huesos. El metilmercurio tiene efectos principalmente en el sistema nervioso. Los órganos donde se acumula mayoritariamente son los huesos, los riñones, el hígado y el cerebro (Mata, 1996).

El cadmio, es un oligoelemento metálico no esencial, prácticamente ausente en el organismo de un recién nacido, pero se acumula con el paso del tiempo hasta

llegar a un máximo a la edad de 50 años. A esta edad, una persona normal no sujeta a la sobreexposición tiene entre 20 y 30 mg de cadmio en el cuerpo, de los cuales, la mitad o tres cuartas partes se encuentra en los riñones y en el hígado. La cantidad total de cadmio contenida en el organismo está relacionada con su concentración en los alimentos, el agua y otras fuentes ambientales, como suelos contaminados, tuberías antiguas, algunas pinturas (sobre todo de color rojo, amarillo y naranja) y en algunos plásticos. El cadmio se acumula sobre todo en los riñones y, en cantidad menor, en el hígado. Ocasiona alteraciones renales, trastornos en el crecimiento y daños en el sistema nervioso central (Vidal, 2004).

El plomo es un metal muy empleado desde la antigüedad y en la actualidad se utiliza principalmente en la industria del petróleo con varios fines. Es utilizado en la fabricación de baterías, pinturas y pigmentos y como estabilizante en la fabricación de algunos plásticos. El plomo ingresa en el organismo por vía digestiva, respiratoria o cutánea. A largo plazo, el 95% del metal presente en el organismo se acumula a nivel óseo sustituyendo al calcio. El resto se acumula principalmente en los riñones y el hígado. Produce anemia por inhibición de la formación de glóbulos rojos y ataca el sistema respiratorio. El plomo no es biodegradable, produce alteraciones en los huesos y el cerebro de los niños, mientras las alteraciones en los adultos son en el hígado y el riñón (Mata, 1996).

En los organismos marinos los efectos de los metales se asocian a perturbaciones de los sistemas enzimáticos a nivel intracelular. El cadmio se acumula en los tejidos y lesiona principalmente los mecanismos de regulación de iones. El cobre, al igual que el mercurio y el zinc, provoca un efecto inhibitorio importante en el metabolismo respiratorio de crustáceos. En los bivalvos se han notado diversos efectos subletales, como la disminución del ritmo cardíaco, las deformaciones de la concha, y la disminución de la movilidad de los gametos. El mercurio es el metal típicamente bioacumulado en los componentes de la cadena alimentaria. Niveles bajos de mercurio en el agua ($\mu\text{g/L}$) reducen la biomasa y diversidad de las comunidades de algas; en crustáceos los efectos del mercurio son más pronunciados que los provocados por otros metales. Los efectos crónicos y

agudos del plomo incluyen daños histopatológicos, deformidades, neurotoxicidad, anemia hemolítica e inhibición de la síntesis de la hemoglobina. Estos efectos ocurren en peces aún en concentraciones del orden de 8 $\mu\text{g/L}$ en el agua (Páez, 1996).

Se han mencionado los metales de mayor interés toxicológico para este trabajo, donde además se analizan los niveles de V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Zr y Pd en las zonas de estudio. La determinación se hizo en lirio acuático mediante la técnica PIXE (que se explica en el Apéndice B).

Lirio acuático, *Eichhornia crassipes*.

La *Eichhornia crassipes*, lirio acuático, es una planta hidrófita flotante altamente adaptable a una amplia gama de condiciones ambientales y climáticas (Olvera, 1989). El lirio acuático se puede reproducir asexual o sexualmente, por lo que su tasa de reproducción que es muy elevada. Al parecer no tiene depredadores naturales en México, lo que la hace una planta invasora de los cuerpos de agua nacionales.

Se ha identificado que la proliferación de lirio en los cuerpos de agua obedece al aporte artificial de nutrientes y materia orgánica, en especial el nitrógeno y el fósforo que acompañan las descargas de aguas residuales, los cuales contribuyen a la aceleración del proceso de eutroficación.

La consideración de la *Eichhornia crassipes*, como elemento en el tratamiento de aguas residuales, se debe a su alta capacidad de remoción de nutrientes debido a: a) su sistema radicular tan extenso; b) su crecimiento vegetativo; y c) su tolerancia a las altas concentraciones de la mayoría de los contaminantes. Sin embargo, sólo se eliminan contaminantes si se extrae y cosecha lirio, cuya consecuencia es tener que depositar el lirio residuo en un sitio adecuado. Por las mismas razones el lirio es capaz de concentrar cantidades importantes de metales pesados, como cadmio, plomo y mercurio, que se llegan a almacenar hasta en

70 y 80 % de la raíz, para soltarlas en el agua cuando la planta envejece y se deterioran sus tejidos (Olvera, 1989).

En este trabajo consideramos como un bioindicador a la *Eichhornia crassipes*, porque además de que absorbe y bioacumula metales pesados, es de fácil recolección, es abundante en las zonas de estudio tanto en el Golfo de México (en Chachalacas, Veracruz) como en el Pacífico Mexicano (en la región de Melaque, Jalisco); y para su análisis resulta fácil su tratamiento. Además es una planta abundante que presenta problemas de invasión, por lo que no se considera en peligro de extinción.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Como se mencionó anteriormente, las zonas en las cuales se realizaron muestreos para determinar metales pesados son:

- Chachalacas, en el estado de Veracruz
- Melaque, en el estado de Jalisco

Se escogieron ambos sitios ya que hay presencia de *Eichhornia crassipes* que en este estudio se utilizó como bioindicador, además que uno se encuentra en el litoral del Golfo de México (Veracruz) y el otro en el litoral del Pacífico Mexicano (Jalisco), permitiendo una comparación del impacto que pudieran tener las actividades características de cada sitio sobre los niveles de metales pesados en el ambiente.

Tener un sitio de estudio en el Golfo de México permitió evaluar el impacto que tienen las actividades industriales que afectan directamente al ambiente y que son aledañas a esta costa; además de que la mayoría de los metales son ampliamente utilizados en las diversas ramas de la industria en la región costera del Golfo de México, incluyendo la refinación del petróleo. También cabe señalar que en esta región se desarrollan las operaciones de perforación petrolera. Cuando hay accidentes, grandes cantidades de petróleo y metales se vierten al mar. En la zona del Golfo las actividades mineras constituyen otra fuente de suministro de metales, ya que en esta zona se localizan más de cincuenta centros mineros. Adicionalmente, los efluentes domésticos aportan hacia los ríos descargas enriquecidas de Ni, Cr, Cu, Pb, Zn, Cd y Ag (Páez – Osuna, 1996). Por lo anterior, se puede esperar tener en este sitio una concentración comparativamente más alta de metales pesados que en la zona del Pacífico Mexicano, ya que a primera vista no se identifican las fuentes importantes de aporte de metales pesados en Jalisco.

Chachalacas, Veracruz.

La laguna Chachalacas pertenece al municipio de Actopan y se encuentra aproximadamente a 5 km de la Villa de José Cardel, en la parte central del estado de Veracruz, al noroeste de la laguna Mandinga y al sureste de la de La Mancha (Contreras, 1993). Chachalacas se encuentra situada entre los paralelos 19° 24' y 19° 25' de latitud N y los meridianos 96° 20' y 96° 25'. El clima se considera del tipo cálido subhúmedo, con escasa oscilación térmica, afectado por ciclones y nortes. Se comunica con el Golfo de México a través del río Chachalacas. Durante la época de lluvias hay descargas de agua dulce a través de los arroyos. Barra de Chachalacas recibe un aporte constante de los ríos Actopan y Hediondo, siendo el primero de mayor caudal. En la parte norte de Barra de Chachalacas y de la desembocadura del Río Actopan se encuentra la Playa del mismo nombre, la cual cuenta con una población de un poco más de 1000 habitantes.



Figura 3. Localización de la zona de estudio en Veracruz, México

En la carta topográfica de la zona de estudio se puede observar que en la parte de Playa Chachalacas se localiza un área urbana, y a lo largo de la costa que corre desde Barra Chachalacas hasta el Norte de la Playa Chachalacas, pasando por la desembocadura del Río Actopan, se encuentran ubicados asentamientos humanos (Figura 4).



Figura 4. Carta topográfica: Chachalacas, Veracruz (Fuente: INEGI, 2002)

Melaque, Jalisco.

La otra zona de estudio se encuentra en el estado de Jalisco, en los límites con el estado de Colima. El sistema hidrológico de Barra Navidad es alimentado por el Río Cihuatlán, que nace en Autlán de Navarro en Jalisco ($19^{\circ} 46' 13''$ de latitud N, $104^{\circ} 22' 04''$ de longitud y a 688 m.s.n.m de altitud). Ahí recibe el nombre de Mamey o Paticajo; en el camino a su desembocadura toma una dirección constante hacia el este, y recibe por la izquierda los ríos de Cacao y San José Camotlán y por la derecha el arroyo del Pueblo Nuevo y el Río Maravasco muy cerca de la cabecera municipal de Cihuatlán ($19^{\circ} 15'$ de latitud N, $104^{\circ} 35'$ de longitud), para desembocar finalmente en la Albufera de Barra Navidad. El área total de la cuenca es de 3667 km² con una longitud de 120 km, considerando como troncal al Río Cihuatlán (Gutiérrez, 1959).



Figura 5. Localización de la zona de estudio en Jalisco, México

Un poco más al Norte, sobre la línea litoral jalisciense, se encuentra Punta Melaque, dónde inicia la Bahía de Navidad (entre los paralelos $19^{\circ} 11'$ y $19^{\circ} 14'$ de latitud N y los meridianos $104^{\circ} 40'$ y $104^{\circ} 43'$), en la parte central de ésta se encuentra localizada la laguna costera El Tule. La Bahía de Navidad termina en línea litoral que protege al puerto del mismo nombre. Al sur de la Bahía de Navidad se encuentra la Albufera de Navidad, laguna salada que recibe las descargas del Río Cihuatlán. El clima de esta región es tropical lluvioso, se caracteriza porque la temperatura media de todos los meses es superior a los 18°C y la precipitación anual es superior a los 750 mm.



Figura 6. Carta topográfica: Melaque Jalisco (Fuente: INEGI, 2002)

ANTECEDENTES

Debido a los diferentes procesos químicos, biológicos, físicos y geológicos que se llevan a cabo en el Golfo de México, cada vez es mayor el interés en la región. El Golfo de México presenta características que hacen sus aguas muy productivas. La pesquería del camarón representa una importante fuente de empleo y entrada de divisas extranjeras.

El Golfo de México es una cuenca muy dinámica y compleja. El principal patrón de circulación es la Corriente de Lazo con movimiento anticiclónico que básicamente es generado por corrientes de fondo a través del Canal de Yucatán y por el movimiento de los vientos (Villanueva, 2000).

También esta región es de gran importancia para la economía del país por las actividades que se realizan tanto en su territorio marítimo como en sus costas. Dentro de estas podemos mencionar las siguientes:

1. Extracción y procesamiento de hidrocarburos. En la Bahía de Campeche se encuentran 72 plataformas de extracción petrolera y 86 pozos de gas y petróleo crudo pesado y ligero con una producción promedio de cerca de 1.9 millones de barriles de petróleo crudo y 700 millones de pies cúbicos de gas (Villanueva, 2000).
2. Actividad de los complejos portuarios industriales y comerciales.
3. Actividades agropecuarias.
4. Actividades turísticas

Estas actividades tienen como consecuencia una sobre explotación de los recursos bióticos y un aumento en la concentración de metales pesados e hidrocarburos en aguas y sedimentos del Golfo de México. El dragado y los trabajos de perforación en el piso oceánico incrementan la cantidad de sólidos suspendidos y la turbidez impide la penetración de la luz (Pérez – Hernández,

1989). También se provoca la introducción de contaminantes y nutrientes. Derrames intermitentes y ocasionales de las actividades petroleras, químicas y petroquímicas son en su conjunto muy nocivos para los ecosistemas del lugar (Botello, 1996).

La región del Pacífico, como parte también importante de las actividades económicas del país, no ha despertado tanto interés como la región del Golfo de México. Sin embargo, el estudio de esta zona nos permitirá hacer un comparativo claro de cómo la actividad petrolera e industrial influye en los niveles de metales pesados, contrastándolos con los de una región sin este tipo de desarrollo industrial.

El considerable interés sobre el comportamiento de los metales pesados en ambientes marinos es debido al resultado de eventos catastróficos, como el caso ya mencionado anteriormente de Minamata en Japón, que cobró la vida de personas a causa del metilmercurio que se encontraban en peces y mariscos (Tovar, 2000), o la enfermedad del Itai Itai, también en Japón, producida por un aumento en las concentraciones de cadmio (Valdespino, 2005).

Hoy es claro que se está trabajando en muchos frentes para combatir y controlar los problemas de contaminación; sin embargo, la información sigue aún muy dispersa y frecuentemente los resultados de la investigación no se continúan ni se engloban en un diagnóstico común. Este trabajo es un esfuerzo por recopilar información reportada en los últimos 23 años en las zonas costeras mexicanas, con el fin de tener un comparativo general del estado que guardan los niveles de metales pesados en estas zonas. Además se presenta un diagnóstico actual de dos zonas, una en el Golfo de México y otra en el Pacífico. Con esto se tendrá un panorama general de la situación que prevalece sobre los metales pesados en las costas de nuestro país.

REVISIÓN HISTÓRICA

El análisis de metales pesados en el sedimento de un sistema acuático permite evaluar el potencial tóxico que existe en un ambiente determinado, porque el sedimento puede comportarse como un almacén de la mayor parte del material que se encuentra en la columna de agua, teniendo en él un registro espacio - temporal de lo que sucede en el sistema (Ponce, 1988).

En este trabajo se hace una recopilación de datos reportados sobre los niveles de metales pesados en los sedimentos de diversas costas mexicanas.

Con esto se presenta un panorama general de la evolución de los niveles de metales pesados en las zonas costeras del Golfo de México, el Pacífico Mexicano o algunos sitios costeros del Caribe Mexicano. Los datos se han ordenado por estado de la República a la que pertenecen las Lagunas o sitios costeros y por año. Además se incluyen datos reportados para las zonas de la Plataforma Continental. Cabe señalar que a medida que uno se aleja de la línea costera en dirección a mar abierto encuentra que las condiciones y factores (atmosféricos, climáticos, temperatura del agua, salinidad, por mencionar algunos) que influyen sobre los ecosistemas marinos cambian, pero la mayoría de los autores que reportan datos para la plataforma continental lo hacen refiriéndose a que su muestreo lo realizaron fuera de la zona costera y fuera de la zona de influencia del oleaje sobre la costa, o bien en condiciones que consideraron diferentes a las del litoral. Es importante mencionar que la revisión histórica no es completa, pero permite mostrar cuál es la tendencia en los niveles de metales pesados a través del tiempo.

- **Niveles reportados de metales en sedimentos de diferentes regiones de México**

Niveles de mercurio

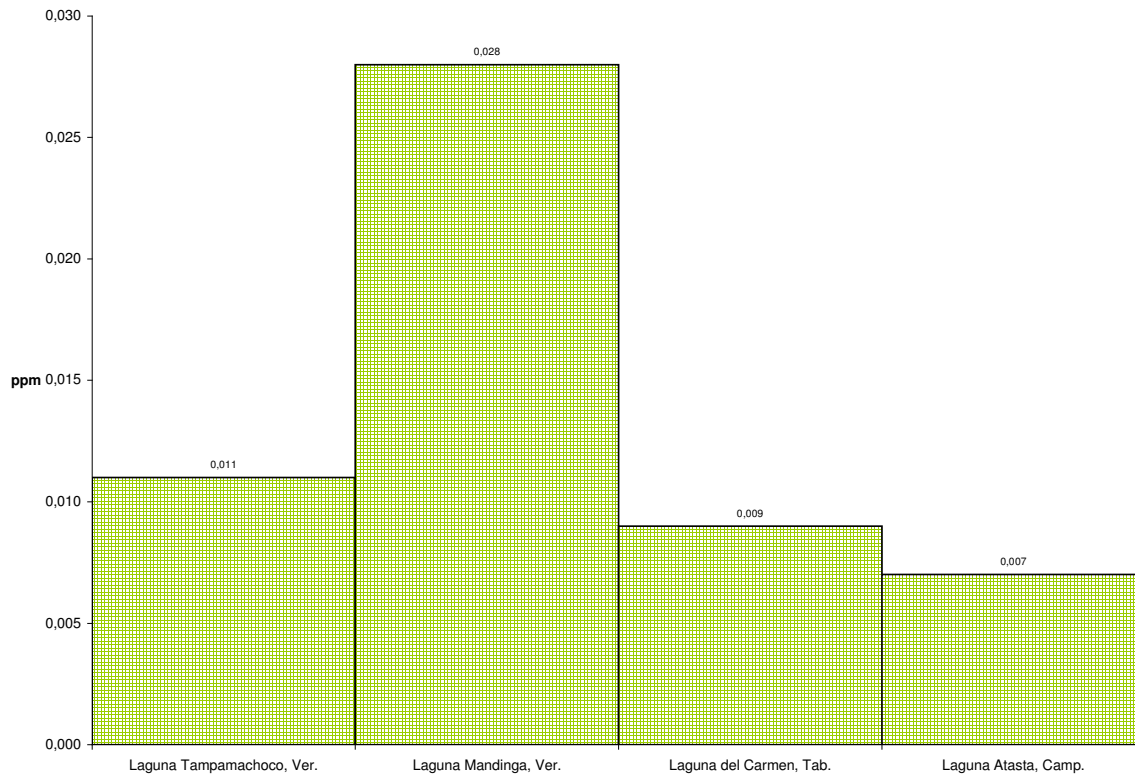
Los datos recabados de concentración de mercurio en sedimentos son pocos. Esto no implica falta de interés para detectarlo, mas bien se atribuye por un lado al elevado costo que implica su análisis en sedimentos, y por otro a que los efectos del mercurio en los niveles superiores de la cadena trófica afectan evidentemente al hombre, por lo cual este elemento que ha sido muy estudiado bajo este punto de vista. Encontramos que existe una importante cantidad de información sobre los niveles de mercurio en peces y moluscos, en los cuales con bastante frecuencia se han encontrado concentraciones elevadas de mercurio, 3 – 5 ppm (Pérès, 1980).

En la Tabla 2 se muestran los datos reportados de mercurio y en la Gráfica 1 se observan estos valores para el año 1983. Con la gráfica se logra una mejor apreciación del comportamiento del mercurio en diferentes lagunas costeras del Golfo de México.

Se puede observar, en los datos reportados, que los niveles de mercurio en sedimentos son relativamente uniformes, con un valor alto reportado en la Laguna Mandinga en Veracruz, mientras que el más bajo fue en la Laguna Atasta en Campeche, con valores de 0.028 y 0.007 ppm respectivamente en 1983.

Tabla 2. Concentración de mercurio (ppm) en sedimentos de lagunas costeras del Golfo de México

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Tampamachoco, Ver.	0.011	± 0.05	Rosas et.al., 1983
Laguna Mandinga, Ver.	0.028	± 0.012	Rosas et.al., 1983
Laguna del Carmen, Tab.	0.009	± 0.003	Rosas et.al., 1983
Laguna Atasta, Camp.	<0.007		Rosas et.al., 1983

**Gráfica 1.** Concentración de mercurio (ppm) en sedimentos de Lagunas costeras del Golfo de México en 1983.

Para sedimentos no se encontró más bibliografía sobre la situación del mercurio en las zonas costeras del país.

Niveles de plomo

En la Tabla 3 y en la Gráfica 2 se encuentran los valores reportados para la concentración de plomo en distintos lugares de la República Mexicana.

El valor de concentración en sedimentos reportado por Ponce, 1995 en la región de la Plataforma Continental del estado de Tamaulipas es de 4.22 ppm, valor que es menor al reportado para el mismo año en la Laguna Mandinga (55.15 ppm) o el reportado para el Estuario Chamichín en Nayarit (31.80 ppm) también en 1995. Además también es 3.59 veces menor que el reportado para el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz (15.17 ppm) y 1.5 veces menor al reportado para la Plataforma Continental de Tabasco (6.44 ppm). Por lo tanto, el valor de la concentración de plomo en sedimentos reportado para la región de Tamaulipas es el menor de los datos reportados en 1995.

Para la región de Veracruz se registra que la concentración de plomo en sedimentos en la década de los 80's tuvo un aumento, ya que en 1983 se reportaron 3.34 ppm en la Laguna Mandinga y 3.94 en la Laguna Tampamachoco, pero en 1986 se reportaron 20.15 ppm en la Laguna de Alvarado, valor que es 5 veces mayor a los reportados tres años antes en Veracruz. Aunque no es la misma laguna si se puede suponer que la concentración de plomo va en aumento.

Siguiendo la tendencia ascendente en los niveles de concentración de plomo en sedimentos, en 1993 se reportaron 28 ppm para la Plataforma Continental de Veracruz, en 1994 se reporta el dato de mayor concentración de plomo en esta región con 81.20 ppm para la Laguna de la Mancha. Cercanos a este valor se tienen los reportados para la Laguna el Llano con 78.76 ppm y para la Laguna Salada con 77.19 ppm, ambas también en 1994; sin embargo, para la Laguna Sontecomapan se reportan 14.84 ppm, valor que para el mismo año es el menor pero es mayor que los reportados en 1983.

Cabe señalar que en la Laguna Mandinga con los datos reportados se puede apreciar mejor la tendencia del nivel de plomo en sedimentos, ya que en 1983 se reportaron 3.34 ppm, en 1994 se eleva reportándose 63.49 ppm y en 1995 disminuye con un valor reportado de 55.15 ppm; estos datos representan la tendencia general de los niveles reportados para el estado de Veracruz, ya que en los 80's hay un incremento en los niveles de plomo alcanzando en la mitad de los 90's un punto máximo y posteriormente hay un decremento en los valores. Esto puede estar asociado al hecho de tener gasolina sin plomo en México.

Así, en el año 2000 en el Sistema Arrecifal La Gallega se reportaron 44.40 ppm de plomo en sedimentos y en el mismo año en el Sistema Arrecifal El Verde se reportaron 49.90 ppm, valor que es 15 veces mayor al reportado en la Laguna Mandinga en 1983 (3.34 ppm). Este es el dato de mayor antigüedad recabado en este trabajo.

La mayor concentración de plomo en sedimentos que se reporta es el de la Laguna Ilusiones en Tabasco, en el año de 1989. La presencia de altas concentraciones en la Laguna Ilusiones está relacionada con la introducción continua y en algunas ocasiones masiva de aguas residuales, así como de las emisiones atmosféricas provenientes de las áreas urbanas e industriales de la ciudad de Villahermosa. Esto se agrava con el crecimiento demográfico en ese estado (Villanueva y Páez, 1996). Seis años antes, en 1983, en la Laguna del Carmen se reportaron 6.49 ppm, y en 1995 para la Plataforma Continental de Tabasco se reportaron 6.44 ppm. Estos dos valores, si bien son menores al de la Laguna Ilusiones, son mayores al de 1983 para Veracruz en ese mismo año (Laguna Mandinga con 3.34 ppm y Tampamachoco con 3.94 ppm) Tabasco tiene casi 2 veces más concentración de plomo que Veracruz en 1983, pero con respecto al de 1995 Tabasco parece tener menor contaminación por Pb. El valor de 158.69 ppm de la Laguna Ilusiones permite proponer revalorar la concentración de Pb en esta región para corroborar este dato, ya que es muy elevado y parece salirse de la norma.

En la región de Campeche se puede apreciar nuevamente la tendencia ascendente en los niveles de plomo en sedimento. En el año de 1983 se reportaron 0.29 ppm en la Laguna Atasta. Cinco años después este valor creció 117.10 veces en la región, ya que en 1988 se reportaron 33.96 ppm de plomo en la Laguna de Términos. En 1994 aparentemente disminuye el nivel de plomo en sedimentos, ya que se reportaron 18 ppm para la Plataforma Continental de Campeche y en el año 2000 se retoma la tendencia de incremento en el nivel de plomo en sedimentos. En la zona de plataformas petroleras, para la Bahía de Campeche, se reportaron 47.60 ppm, valor que es superior a los reportados en los 80's en Veracruz, a los de Tabasco y también a los del Pacífico Mexicano (con excepción al de la Laguna de Mitla en Guerrero en 1987 y a los reportados para Chiapas en 1996).

En 2001 se reporta un promedio para la Plataforma Continental al Sur de Veracruz, Tabasco y Campeche, se reportaron 107 ppm. Este valor indica que en las regiones del Golfo de México se han reportado los mayores niveles de concentración de plomo en sedimentos. Para el Pacífico Mexicano, los valores reportados son casi la mitad: en la Laguna de Mitla en Guerrero con 59.64 ppm en 1987; la Laguna Carretas – Pereyra con 52.93 ppm en 1996; y en el mismo año la Laguna Chantuto – Panzacola con 54.04 ppm (éstas dos últimas en el estado de Chiapas).

Para el año de 1990 se tiene que el nivel de plomo en sedimentos de la Boca del Golfo de California se encontraron 45.11 ppm, siendo el más alto reportado para un promedio del Golfo de California, que antes había reportado un valor de 36.58 ppm de plomo.

En Sinaloa se puede ver que también en el Pacífico Mexicano al paso del tiempo se tiene un incremento del nivel de concentración de plomo en sedimentos, ya que en 1984 se tenían 9 ppm para la Laguna Chautengo, dos años después se eleva a 27.97 ppm para el Puerto de Mazatlán y para el mismo lugar 12 años más tarde, en 1998, se reportaron 37.20 ppm de plomo en la zona con influencia

industrial. Por lo anterior se aprecia que a lo largo de las dos últimas décadas del siglo XX ha habido un incremento de plomo también en el Pacífico Mexicano.

En el año 1991 para el estado de Oaxaca hay datos de tres sitios diferentes, lo que nos permite ver la situación de esta región en este año. Para la Laguna Superior se reportaron 4.4 ppm, el siguiente dato es 5 veces mayor ya que en la zona de la Plataforma Continental del Istmo de Tehuantepec se reportaron 22.57 ppm y en el Puerto de Salina Cruz se reportaron 34.25 ppm. Este último valor es muy cercano al reportado en el Puerto de Mazatlán en 1998 (37.20 ppm) por lo que podemos inferir que la actividad portuaria trae consigo efectos comunes sobre los ecosistemas marinos con respecto al incremento en los niveles de plomo en sedimentos.

Los valores de las concentraciones de plomo en sedimentos varían significativamente de un sitio a otro. De forma general podemos mencionar que en la zona del Golfo de México se reportaron los valores altos en comparación con los del Pacífico Mexicano; en Veracruz se reportaron los niveles más altos de plomo en sedimentos del Golfo de México, con excepción al valor reportado para la Laguna Ilusiones en Tabasco (158.69 ppm) y al promedio en el Sureste del Golfo de México (107 ppm); en el Pacífico Mexicano los valores de más alta concentración reportados fueron los de la Laguna Mitla (59.64 ppm) y en las Lagunas Carretas – Pereyra (52.93 ppm) y Chantuto – Panzacola (54.04 ppm) ambas en el estado de Chiapas. La tendencia a lo largo del tiempo prevalece tanto en el Golfo como en el Pacífico, en los 80's se tienen niveles bajos de plomo que se incrementan en los 90's y para después de 2000 decrecen pero no al nivel de 20 años antes.

Tabla 3. Concentración de plomo (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Plataforma Continental Tamps.	4.22	± 2.85	Ponce, 1995
Laguna Tampamachoco, Ver.	3.94	± 3.01	Rosas et.al., 1983
Laguna Mandinga, Ver.	3.34	± 3.25	Rosas et.al., 1983
Laguna de Alvarado, Ver.	20.15	± 14.77	Rosales et.al., 1986 b
Plataforma Continental, Ver.	28.00	± 23.93	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	63.49		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	81.20	± 11.14	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	78.76	± 24.00	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	77.19	± 21.85	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	14.84	± 12.77	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	55.15	± 24.43	Hernández et. al.,1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	15.17	± 8.03	Ponce, 1995
Sistema Arrecifal La Gallega, Ver.	44.4	± 3.72	Tovar, 2000
Sistema Arrecifal El Verde, Ver.	49.9	± 4.31	Tovar, 2000
Laguna del Carmen, Tab.	6.49	± 5.18	Rosas et.al., 1983
Laguna Ilusiones, Tab.	158.69	± 93.03	Valencia, 1989
Plataforma Continental, Tab.	6.44	± 6.81	Ponce, 1995
Laguna Atasta, Camp.	0.29	± 0.25	Rosas et.al., 1983
Laguna Términos, Camp.	33.96	± 18.28	Ponce, 1988
Plataforma Continental, Camp.	18.00		Rosales et. al., 1994
Bahía de Campeche*	47.6	± 3.6	Villanueva, 2000
Sureste del Golfo de México	107.0		Vázquez et. al., 2001
Golfo de California	36.58	± 8.24	Páez-Osuna et. al., 1990
Boca del Golfo de California	45.11	± 10.37	Páez-Osuna et. al., 1990
Laguna Chautengo, Sin.	<9.00		Páez-Osuna et. al., 1984
Puerto de Mazatlán, Sin.	27.97	± 10.59	Osuna-López et. al.,1986
Puerto de Mazatlán, Sin.**	37.2	± 19.2	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	31.8		Páez-Osuna et. al., 1995
Laguna Mitla, Gro.	59.64	± 15.79	Páez-Osuna et.al., 1987
Puerto Salina Cruz, Oax.	34.25		Botello et. al., 1991
Plat. Cont. Tehuantepec, Oax.	22.57		Benitez 1991
Laguna Superior, Oax.	4.4		Benitez 1991
Laguna Carretas-Pereyra, Chis.	52.93	± 7.58	Botello et. al., 1996
Laguna Chantuto-Panzacola, Chis.	54.04	± 11.5	Botello et. al., 1996

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

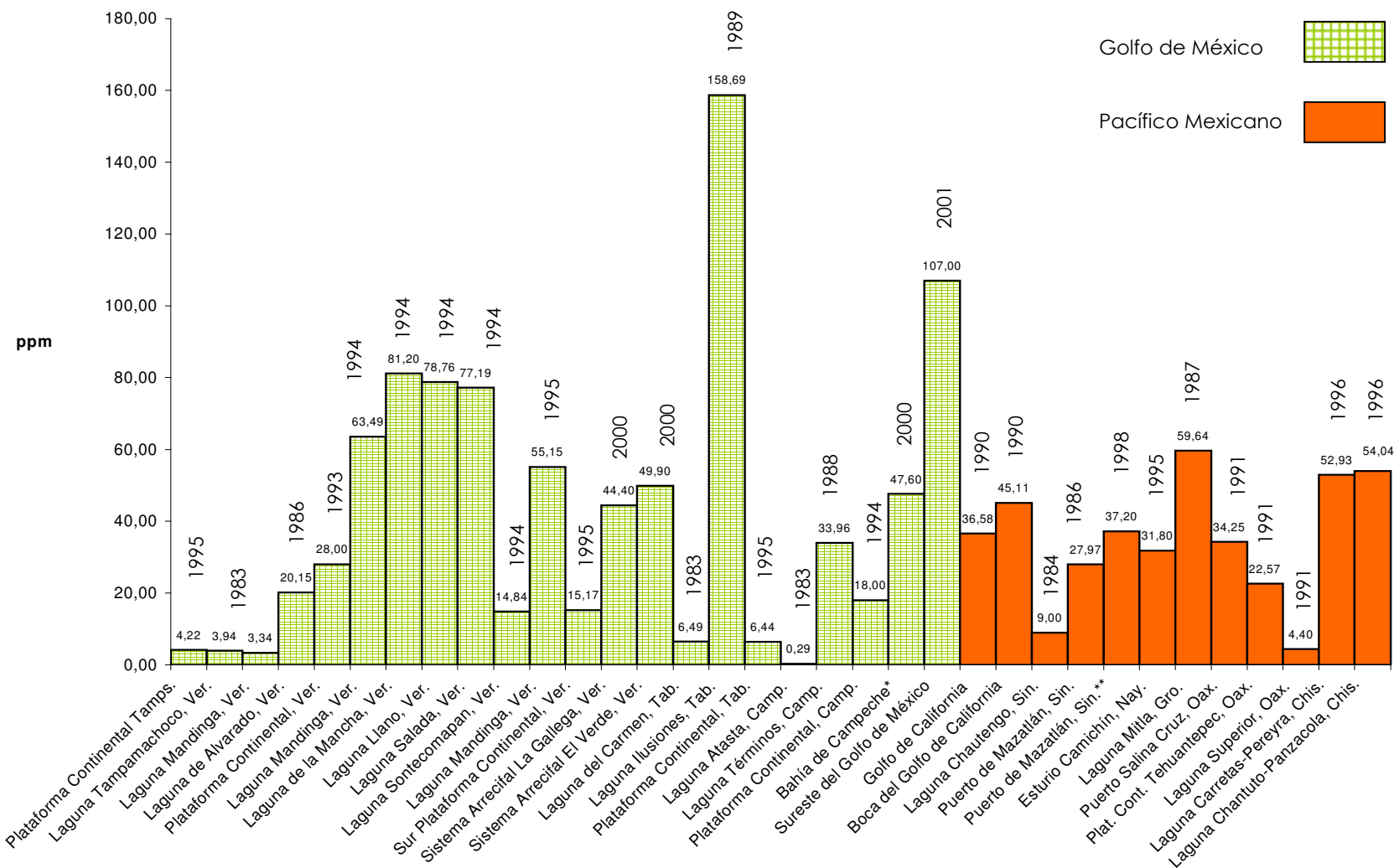


Gráfico 2. Concentración de plomo (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Niveles de cadmio

En la Tabla 4 se presentan los datos reportados de concentración de cadmio en sedimentos y en la Gráfica 3 se ilustra la tendencia que siguen en cada región al paso de los años.

Tamaulipas tuvo un incremento de 228.5 veces en los niveles de cadmio en sedimentos ya que en 1980 se reportaron 0.04 ppm para la Laguna Madre y en 1995 para la Plataforma Continental de Tamaulipas se reportaron 9.14 ppm

En el estado de Veracruz los niveles de cadmio también presentan un incremento que se puede apreciar en los datos que se reportan de 1983 con 0.015 ppm de cadmio en la Laguna Mandinga y en el mismo año para la Laguna Tampamachoco se encontraron 0.098 ppm. Diez años después este último nivel se incrementó 16.5 veces para la Plataforma Continental de Veracruz, ya que reportaron 1.62 ppm. En 1994 se puede apreciar que los niveles son altos con respecto a los de 1983. El mayor fue para la Laguna Salada con 2.20 ppm, le siguió la Laguna de la Mancha con 1.47 ppm de cadmio, siguiendo en orden decreciente con 1.41 ppm reportado para la Laguna Sontecomapan, con 1.35 ppm la Laguna el Llano y por último la Laguna Mandinga con 1.23 ppm también para 1994; comparando los datos reportados para Mandinga en los diferentes años podemos apreciar que de 1983 (con 0.015 ppm) a 1994 (con 1.23 ppm) el plomo tuvo un incremento de 82 veces pero en 1995 se reportó que disminuyó aparentemente a 1.09 ppm, valor que si es menor al año anterior pero sigue siendo mayor al reportado 12 años antes. La tendencia de incremento en los niveles de cadmio en sedimentos en el estado de Veracruz se evidencia con los datos reportados en 1995. Se encontraron 1.79 ppm para el Sur de la Plataforma Continental, pero en 2000 este valor aumentó a 4.7 ppm para el Sistema Arrecifal la Gallega y 6.20 ppm para el Sistema Arrecifal El Verde siendo éste el sitio de mayor concentración de cadmio en sedimentos en la región de Veracruz.

Los datos reportados para la región del estado de Tabasco también presentan un incremento a lo largo del tiempo, ya que en 1983 se reportaron 0.28 ppm para la Laguna del Carmen y 12 años después este valor se incrementó a 7.03 ppm para la Plataforma Continental de Tabasco. En la región del estado de Campeche se repite la tendencia ya que en 1983 para la Laguna Atasta se reportaron 0.015 ppm y tan sólo 5 años después, en 1988, para la Laguna Términos se encontraron 1.39 ppm.

Con respecto al promedio de las Plataformas Continentales en el Sureste del Golfo de México se reportaron 3.45 ppm en 2001, valor que está por debajo de los reportados para la Plataforma Continental de Tamaulipas (9.14 ppm), al del Sistema Arrecifal la Gallega (6.20 ppm), al del Sistema Arrecifal el Verde (4.7 ppm) y al reportado para la Plataforma Continental de Tabasco (7.03 ppm). Así en el Golfo de México tenemos que en Tamaulipas en 1995 se reportó el nivel más alto de concentración de plomo en sedimentos con 9.14 ppm.

El Pacífico Mexicano destaca por tener el nivel más elevado de cadmio en sedimentos, corresponde al Noreste de Baja California y es de 10 ppm en 1994. Cuatro años antes en la Boca del Golfo de California se reportaron 2.98 ppm y para el promedio del Golfo de California se reportaron 1.89 ppm también en 1990.

Para el Puerto de Mazatlán en el estado de Sinaloa se reportaron una disminución en el nivel de concentración de cadmio en sedimentos de 1986 a 1998, ya que en los 80's se reportaron 1.31 ppm mientras que en 1998 se encontraron 0.90 ppm.

En el Estuario Camichín en Nayarit en el año de 1995 se reportaron 0.30 ppm, comparando este valor con otros reportados el mismo año encontramos que es menor al reportado en Mandinga (1.09 ppm) y al reportado para el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz (1.79 ppm), por lo que la región de Nayarit en ese año estuvo por debajo en las concentraciones de cadmio en sedimentos en comparación del Golfo de México.

La Laguna Superior en Oaxaca reporta en 1991 niveles de 1.47 ppm y muy cercanos a este valor se encuentran los reportados en 1996 para la Laguna Chantuto – Panzacola (1.44 ppm) y menor aún la Laguna Carretas – Pereyra (1.32 ppm) éstas dos últimas en el estado de Chiapas. En general el Pacífico Mexicano presenta mayores niveles de cadmio en sedimentos que el Golfo de México.

Tabla 4. Concentración de cadmio (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Madre, Tamps.	0.04	± 0.01	Pulich, 1980
Plataforma Continental, Tamps.	9.14	± 4.26	Ponce, 1995
Laguna Tampamachoco, Ver.	0.098	± 0.091	Rosas et.al., 1983
Laguna Mandinga, Ver.	0.015	± 0.029	Rosas et.al., 1983
Plataforma Continental, Ver.	1.62	± 0.67	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	1.23		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	1.47	± 0.51	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	1.35	± 0.50	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	2.20	± 0.91	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	1.41	± 0.53	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	1.09	± 0.58	Hernández et. al., 1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	1.79	± 1.03	Ponce, 1995
Sistema Arrecifal La Gallega, Ver.	6.2	± 0.72	Tovar, 2000
Sistema Arrecifal El Verde, Ver.	4.7	± 0.87	Tovar, 2000
Laguna del Carmen, Tab.	0.28	± 0.21	Rosas et.al., 1983
Plataforma Continental, Tab.	7.03	± 3.38	Ponce, 1995
Laguna Atasta, Camp.	0.015	± 0.009	Rosas et.al., 1983
Laguna Términos, Camp.	1.39	± 0.35	Ponce, 1988
Sureste del Golfo de México	3.45		Vázquez et. al., 2001
Golfo de California	1.89	± 1.04	Páez-Osuna et. al., 1990
Noreste de Baja California	10.00	± 0.00	Rosales et. al., 1994
Boca del Golfo de California	2.98	± 1.33	Páez-Osuna et. al., 1990
Puerto de Mazatlán, Sin.	1.31	± 0.27	Osuna-López et. al., 1986
Puerto de Mazatlán, Sin**	0.9	± 0.4	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	0.3		Páez-Osuna et. al., 1995
Laguna Superior, Oax.	1.47		Benitez 1991
Laguna Carretas-Pereyra, Chis.	1.32	± 0.52	Botello et. al., 1996
Laguna Chantuto-Panzacola, Chis.	1.44	± 0.58	Botello et. al., 1996

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

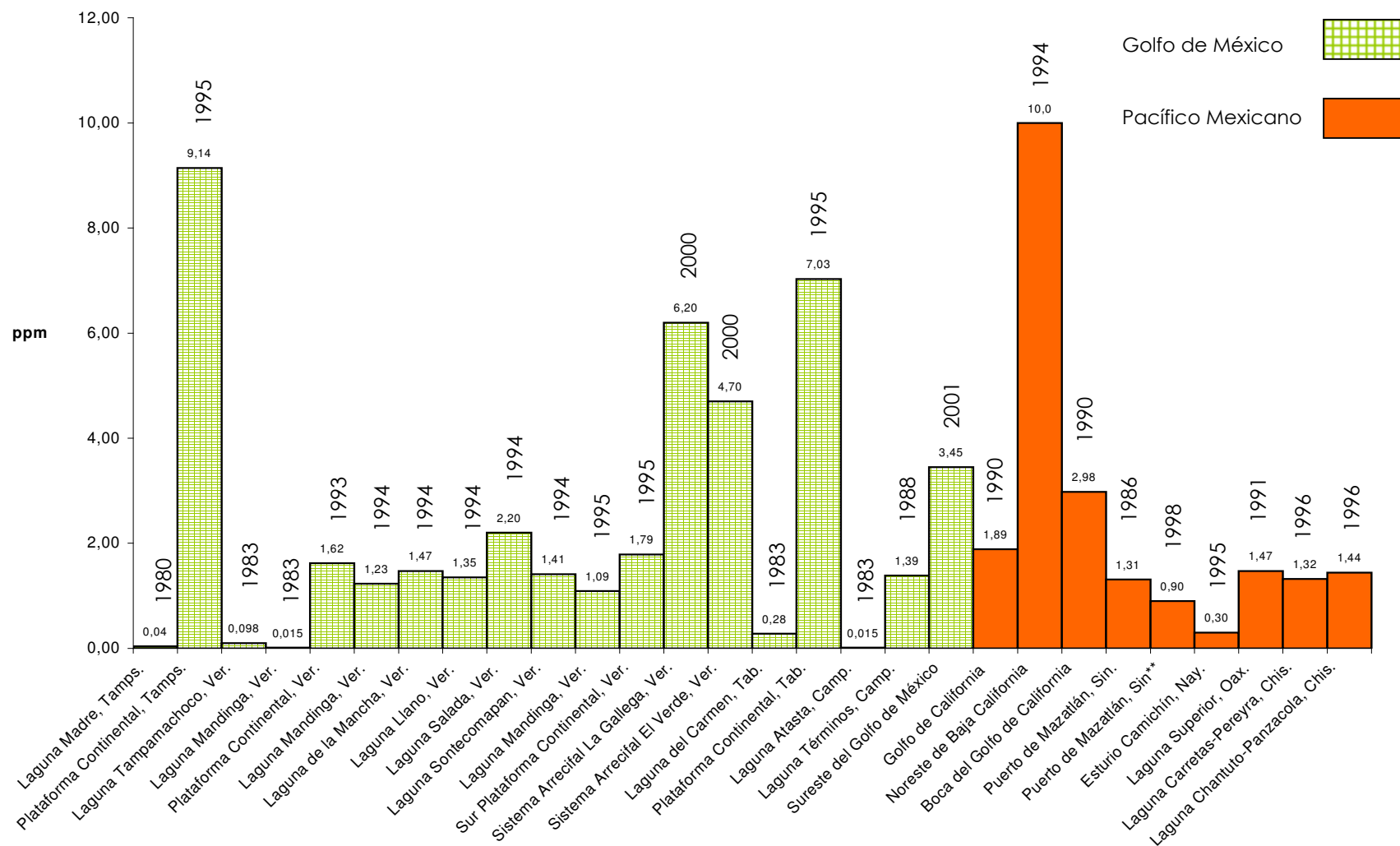


Gráfico 3. Concentración de cadmio (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Niveles de cromo

En la Tabla 5 se desglosa el listado de los datos reportados para la concentración de cromo en sedimentos en diferentes regiones del Golfo de México y del Pacífico Mexicano. En la Gráfica 4 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

Aunque la comparación no puede ser directa, porque los sitios son diferentes, podemos observar que en 1995 para la Plataforma Continental de Tamaulipas se reportaron 36.97 ppm, valor que es mayor que los encontrados el mismo año para Mandinga (21.92 ppm) y para el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz (15.5 ppm). Sin embargo para el mismo año, 1995, en la Plataforma Continental de Tabasco se reportaron 101.7 ppm, valor 2.75 mayor que la concentración de cromo en sedimentos reportada para la región del estado de Tamaulipas.

Para el estado de Veracruz se encontró un incremento en los niveles de cromo de 1983 a 1986; esto se evidencia al comparar el valor reportado para la Laguna Mandinga (7.43 ppm) y el de la Laguna Tampamachoco (9.55 ppm), ambos en 1983, contra el reportado para la Laguna Alvarado en 1986 de (109.83 ppm). Este último valor antecede al reportado en la Laguna Ostión ese mismo año, que es de 140.7 ppm de cromo en sedimento. Este es el valor de mayor concentración reportado no sólo para Veracruz sino en todo el país y de todos los años recabados en este trabajo.

En 1993 se presenta un decremento en los niveles reportados para la Plataforma Continental de Veracruz. Se registraron 15.82 ppm de cromo en sedimentos. Los valores reportados para el año 1994 presentan niveles por debajo al reportado en la Laguna Ostión en 1986 (140.7 ppm) pero son altos en comparación a los reportados en 1983 (Mandinga con 7.43 ppm y Tampamachoco 9.55 ppm); así se tiene que el valor más alto reportado en 1994 es para la Laguna Sontecomapan con 74.92 ppm, siguiéndole con 49.75 ppm la Laguna de la Mancha, y con 45.74 ppm la Laguna Mandinga. Siguiendo el orden decreciente sigue con

36.24 ppm la Laguna Llano y el menor valor reportado también para 1994 se registró para la Laguna Salada con 26.69 ppm de cromo en sedimentos. Cabe destacar que para 1995 Mandinga (21.92 ppm) presenta una disminución de 2 veces al valor reportado en 1994 (45.74 ppm). Esta tendencia se conserva también con el dato reportado en 1995 para el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz con 15.60 ppm, que es el menor de todos los reportados. En el año 2000 se encontraron valores sólo por arriba de los reportados en 1983 pero por debajo de cualquiera posterior a ese año; para el Sistema Arrecifal la Gallega con 13.9 ppm y el mismo valor de cromo en sedimentos se encontró en este año para el Sistema Arrecifal el Verde.

En la región del estado de Tabasco se ve que de los años 80's a la siguiente década hay un incremento en los niveles de cromo en sedimentos, ya que en 1983 se reportó para la Laguna del Carmen el valor de 30.50 ppm y este valor se incrementa 3.3 veces en 1995 cuando se reportaron 101.7 ppm de cromo para la Plataforma Continental de Tabasco.

La tendencia de incremento en los niveles de cromo en los años subsecuentes a 1983 se vuelve a presentar en la región del estado de Campeche. En 1983 para la Laguna Atasta se encontraron 1.02 ppm, valor que se incrementa 5 años después a 47.2 ppm en la Laguna Términos. En 1994 se presenta una disminución en el valor de la concentración de cromo ya que se encontraron 25 ppm para la Plataforma Continental de Campeche pero en el año 2000 se recupera la tendencia a incrementar los niveles reportándose el valor más alto recabado para esta región en este trabajo, con 102.6 ppm para la Bahía de Campeche en la zona de plataformas petroleras.

El valor promedio para el Sureste del Golfo de México en el 2001 es de 74.5 ppm de cromo en sedimentos, valor que está por debajo de los valores altos reportados en otros lugares, como son: Veracruz en 1986 (Ostión con 140.7 ppm), Tabasco en 1995 (Plataforma Continental con 101.7 ppm), Campeche en el 2000

(Bahía de Campeche con 102.6 ppm), o Veracruz en 1994 (Sontecomapan con 74.92 ppm).

En el Pacífico Mexicano los datos de cromo reportados varían, pero en la región del Golfo de California se puede observar un incremento en los niveles de cromo en sedimentos ya que en 1990 para el Golfo de California se reportaron 35.32 ppm y en el mismo año para la Boca del Golfo de California se encontraron 55.3 ppm. Estos valores se incrementan a 75 ppm en 1994 para el Noreste Baja California.

Una tendencia contraria se registra en la región del estado de Sinaloa, ya que los niveles reportados presentan una disminución con el paso de los años. En 1984 se reportaron para la Laguna Chautengo 59 ppm, dos años después en el Puerto de Mazatlán se registraron 28.26 ppm y en 1998 para el Puerto de Mazatlán en la zona de influencia industrial el valor reportado es de 15.2 ppm de cromo en sedimentos.

En 1995 el nivel reportado de cromo en sedimentos fue de 7.1 ppm para el Estuario Camichín en Nayarit. Este valor en comparación con otros reportados en el Golfo de México en el mismo año es menor (Plataforma Continental de Tabasco con 101.7 ppm, Plataforma Continental de Tamaulipas con 36.97 ppm, Mandinga con 21.92 y Sur de la Plataforma Continental de Veracruz con 5.6 ppm), por lo que en ese año el nivel de cromo en sedimentos del Golfo de México fue mayor que en el Pacífico Mexicano.

Para el año de 1991 en la región del estado de Chiapas se observa que el nivel en la concentración de cromo en sedimentos es mayor en el Puerto de Salina Cruz con 46.86 ppm en comparación al reportado para el mismo año en la Plataforma Continental del Istmo de Tehuantepec con 44.35 ppm de cromo en sedimentos.

En general podemos observar que la tendencia a lo largo de los últimos 23 años ha variado en cada región. Los valores más altos se registraron en el Golfo de

México. Cabe destacar que el valor del Noreste de Baja California es el más alto reportado para el Pacífico Mexicano.

Tabla 5. Concentración de cromo (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Plataforma Continental, Tamps.	36.97	± 21.71	Ponce, 1995
Laguna Tampamachoco, Ver.	9.55	± 4.20	Rosas et.al., 1983
Laguna Mandinga, Ver.	7.43	± 8.32	Rosas et.al., 1983
Laguna de Alvarado, Ver.	109.83	± 124.60	Rosales et.al., 1986 b
Laguna Ostión, Ver.	140.7	± 80.21	Páez Osuna, et.al. 1986
Plataforma Continental, Ver.	15.82	± 25.88	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	45.74		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	49.75	± 16.65	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	36.24	± 13.81	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	26.69	± 7.80	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	74.92	± 33.60	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	21.92	± 10.14	Hernández et. al.,1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	15.60	± 12.17	Ponce, 1995
Sistema Arrecifal La Gallega, Ver.	13.9	± 1.79	Tovar, 2000
Sistema Arrecifal El Verde, Ver.	13.9	± 2.15	Tovar, 2000
Laguna del Carmen, Tab.	30.5	± 28.60	Rosas et.al., 1983
Plataforma Continental, Tab.	101.7	± 28.73	Ponce, 1995
Laguna Atasta, Camp.	1.02	± 1.25	Rosas et.al., 1983
Laguna Términos, Camp.	47.2	± 29.90	Ponce, 1988
Plataforma Continental, Camp.	25.00	± 17.50	Rosales et. al., 1994
Bahía de Campeche*	102.6	± 4.2	Villanueva, 2000
Sureste del Golfo de México	74.5		Vázquez et. al., 2001
Golfo de California	35.32	± 7.28	Páez-Osuna et. al., 1990
Boca del Golfo de California	55.30	± 18.29	Páez-Osuna et. al., 1990
Noreste de Baja California	75.00	± 50.00	Rosales et. al.,1994
Laguna Chautengo, Sin.	59.00	± 1.41	Páez-Osuna et. al., 1984
Puerto de Mazatlán, Sin.	28.26	± 16.07	Osuna-López et. al.,1986
Puerto de Mazatlán, Sin.**	15.2	± 5.4	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	7.1		Páez-Osuna et. al., 1995
Puerto Salina Cruz, Oax.	46.86		Botello et. al., 1991
Plat. Cont. Tehuantepec, Oax.	44.35		Benitez 1991

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

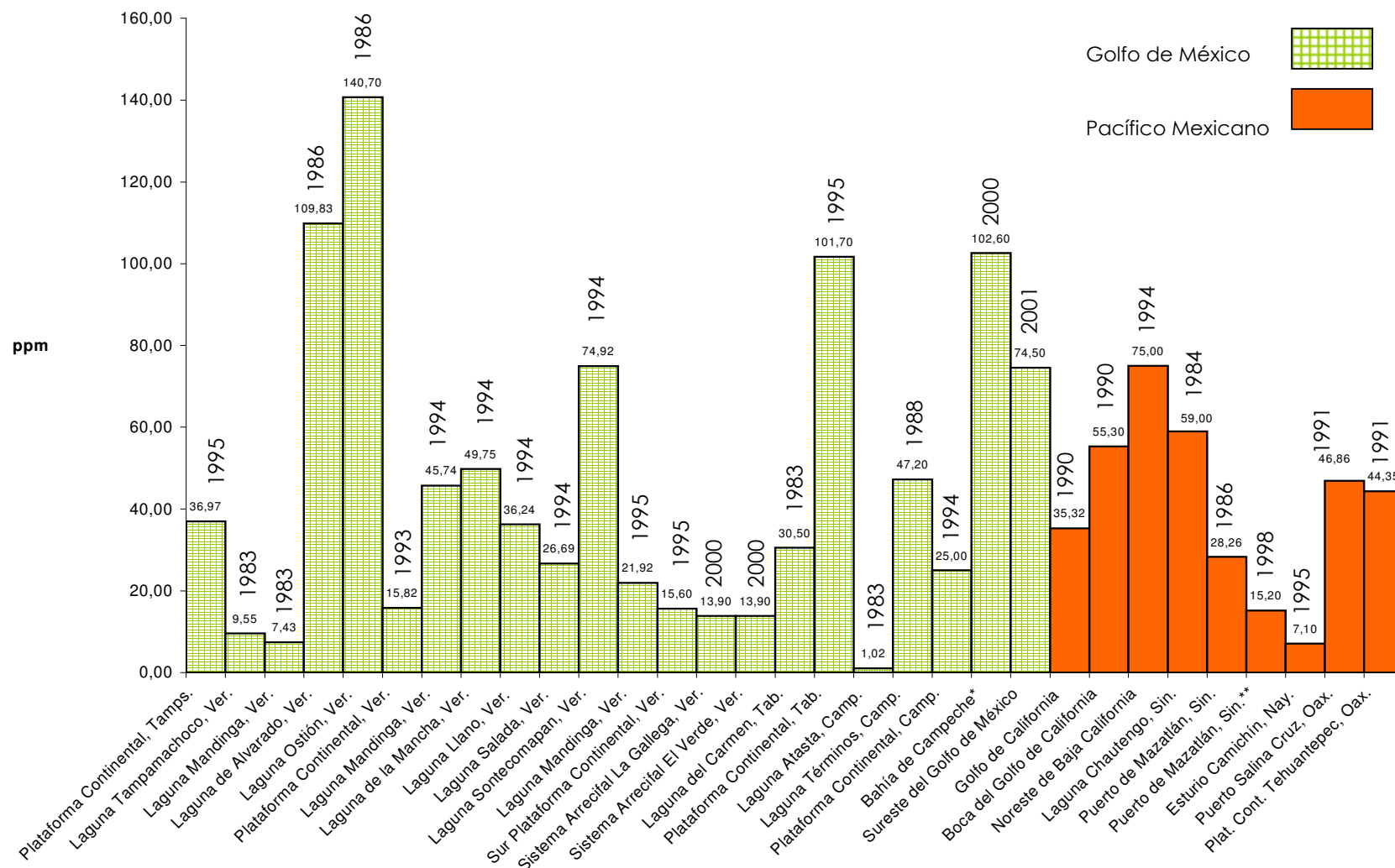


Gráfico 4. Concentración de cromo (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Niveles de cobre

En la Tabla 6 se reportan los datos de la concentración de cobre en sedimentos en diferentes regiones del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano. En la Gráfica 5 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

Los niveles de cobre reportados para el estado de Tamaulipas en 1980 y 1995 muestran un incremento en la concentración cuando se compara Laguna Madre (1980) y la Plataforma Continental (1995), con valores de 1.6 ppm y 15.23 ppm respectivamente; aunque las comparaciones son sobre diferentes sitios de muestreo estos datos nos indican que puede haber un incremento en la concentración de cobre en sedimentos de esta región.

Para Veracruz se registraron valores en la Laguna Alvarado de 15.55 ppm en 1986 y en el mismo año pero en la Laguna Ostión un valor de 39.9 ppm. En 1993 se registró una disminución en el valor de la concentración de cobre en sedimentos en la Plataforma Continental de Veracruz con un valor de 17.22 ppm. Sin embargo en el año de 1994 se registraron valores superiores además de encontrarse el mayor valor de concentración de cobre registrado en Veracruz en los años recabados en este estudio, con 70.99 ppm para la Laguna Llano. Para el mismo año se reportan para la Laguna de la Mancha 60.84 ppm, siguiéndole en orden decreciente la Laguna Salada con 52.29 ppm, la Laguna Mandinga con 48.05 ppm y la Laguna Sontecomapan con 39.98 ppm.

En 1995 para la Laguna Mandinga se reportaron 29.84 ppm de cobre en sedimentos, valor que es menor al reportado un año antes en el mismo sitio. La tendencia a disminuir la cantidad de cobre se confirma en el año 2000 ya que se reportaron para este año en el Sistema Arrecifal la Gallega 10.5 ppm. El mismo valor se registró en el Sistema Arrecifal el Verde.

En Tabasco la tendencia también es decreciente al pasar de los años. El dato reportado para la Laguna Ilusiones fue de 46.6 ppm en 1989, y en 1995 hubo una

disminución de 2.7 veces ya que para la Plataforma Continental se reportaron 16.88 ppm.

Lo contrario sucede en Campeche ya que se registró un aumento al comparar el dato reportado en 1988 para la Laguna de Términos (7.43 ppm) contra el dato reportado en el año 2000 para la Bahía de Campeche en la zona de plataformas petroleras (16.5 ppm).

En el Caribe Mexicano, para la Laguna Bojórquez en Quintana Roo se encontraron 34.18 ppm de cobre en sedimentos en el año 1987. Para ese mismo año en la Laguna Mitla de Guerrero se registraron 91.98 ppm y tan solo un año antes, en 1986, para la Laguna Ostión se reportaron 39.90 ppm de cobre en sedimentos; con esto se observa que el nivel reportado en la zona del Caribe Mexicano está por debajo de lo reportado en el Pacífico Mexicano y el Golfo de México.

Para las zonas del Pacífico Mexicano se encontró el nivel de cobre más alto en el país durante los años incluidos en este estudio. En 1990 se reportaron 176.18 ppm para la Boca del Golfo de California. También para 1990 en el promedio del Golfo de California se encontraron 48.89 ppm. Sin embargo, en 1994 en esta región se reporta un nivel menor a los reportados 4 años antes, reportándose 20 ppm para el Noreste de Baja California.

En Sinaloa, para la Laguna Chautengo se encontraron 35.5 ppm de cobre en sedimentos. Dos años después se registró para el Puerto de Mazatlán una disminución, ya que se reportaron 19.87 ppm. Doce años después en el mismo sitio pero en la zona de influencia industrial se registró un aumento reportándose 37.9 ppm.

Los datos reportados para el año 1995 permiten dar un panorama general de los niveles de cobre en sedimentos en las diferentes regiones. En el Estuario Camichín en Nayarit se encontraron 5.6 ppm. Este valor es el menor para este año

comparándolo con los reportados en la zona del Golfo de México (Plataforma Continental de Tamaulipas con 15.23 ppm, Mandinga con 29.84 ppm, el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz con 17.94 ppm y la Plataforma Continental de Tabasco con 16.88 ppm). Esto es semejante a lo que ocurre en 1993, ya que para el Puerto de Manzanillo en Colima se reportaron 12.95 ppm y para el mismo año se encontró un valor mayor en la Plataforma Continental de Veracruz (17.22 ppm). En 1993 y 1995 el Pacífico Mexicano reportó los niveles más bajos de concentración de cobre en sedimentos.

El segundo nivel más alto en el Pacífico Mexicano se registró en la Laguna Mitla en Guerrero, con 91.98 ppm, mientras que el más alto fue el reportado para la Boca del Golfo de California con 176.18 ppm.

En la región del estado de Chiapas en 1996 para la Laguna Carretas – Pereyra se encontraron 38.64 ppm. En la Laguna Chantuto – Panzacola se reportaron 39.86 ppm de cobre en sedimentos.

En general, se tiene en el Golfo de México la tendencia ha sido de disminución en los niveles de cobre en sedimentos. El Pacífico Mexicano parece ser el lugar con más cobre. Los valores tanto del Golfo de México y del Pacífico Mexicano son mayores que los encontrados para el Caribe Mexicano.

Tabla 6. Concentración de cobre (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Madre, Tamps.	1.6	± 0.2	Pulich, 1980
Plataforma Continental, Tamps.	15.23	± 7.48	Ponce, 1995
Laguna de Alvarado, Ver.	15.55	± 11.16	Rosales et.al., 1986 b
Laguna Ostión, Ver.	39.9	± 26.70	Páez Osuna, et.al. 1986
Plataforma Continental, Ver.	17.22	± 13.06	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	48.05		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	60.84	± 20.73	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	70.99	± 17.62	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	52.29	± 24.54	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	39.98	± 29.29	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	29.84	± 23.28	Hernández et. al.,1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	17.94	± 17.43	Ponce, 1995
Sistema Arrecifal La Gallega, Ver.	10.5	± 0.59	Tovar, 2000
Sistema Arrecifal El Verde, Ver.	10.5	± 0.36	Tovar, 2000
Laguna Ilusiones, Tab.	46.6	± 26.50	Valencia, 1989
Plataforma Continental, Tab.	16.88	± 7.77	Ponce, 1995
Laguna Términos, Camp.	7.43	± 3.49	Ponce, 1988
Bahía de Campeche*	16.5	± 0.1	Villanueva, 2000
Sureste del Golfo de México	9.4		Vázquez et. al., 2001
Laguna Bojórquez, Q. Roo	34.18		De León, 1987
Golfo de California	48.89	± 27.64	Páez-Osuna et. al., 1990
Boca del Golfo de California	176.18	± 97.56	Páez-Osuna et. al., 1990
Noreste de Baja California	20.00	± 11.83	Rosales et. al.,1994
Laguna Chautengo, Sin.	35.50	± 9.19	Páez-Osuna et. al., 1984
Puerto de Mazatlán, Sin.	19.87	± 22.05	Osuna-López et. al.,1986
Puerto de Mazatlán,Sin.**	37.9	± 28.9	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	5.6		Páez-Osuna et. al., 1995
Puerto de Manzanillo, Col.	12.95	± 64.60	Guerrero 1993
Laguna Mitla, Gro.	91.98	± 28.42	Páez-Osuna et.al., 1987
Laguna Carretas-Pereyra, Chis.	38.64	± 12.44	Botello et. al., 1996
Laguna Chantuto-Panzacola, Chis.	39.86	± 9.03	Botello et. al., 1996

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

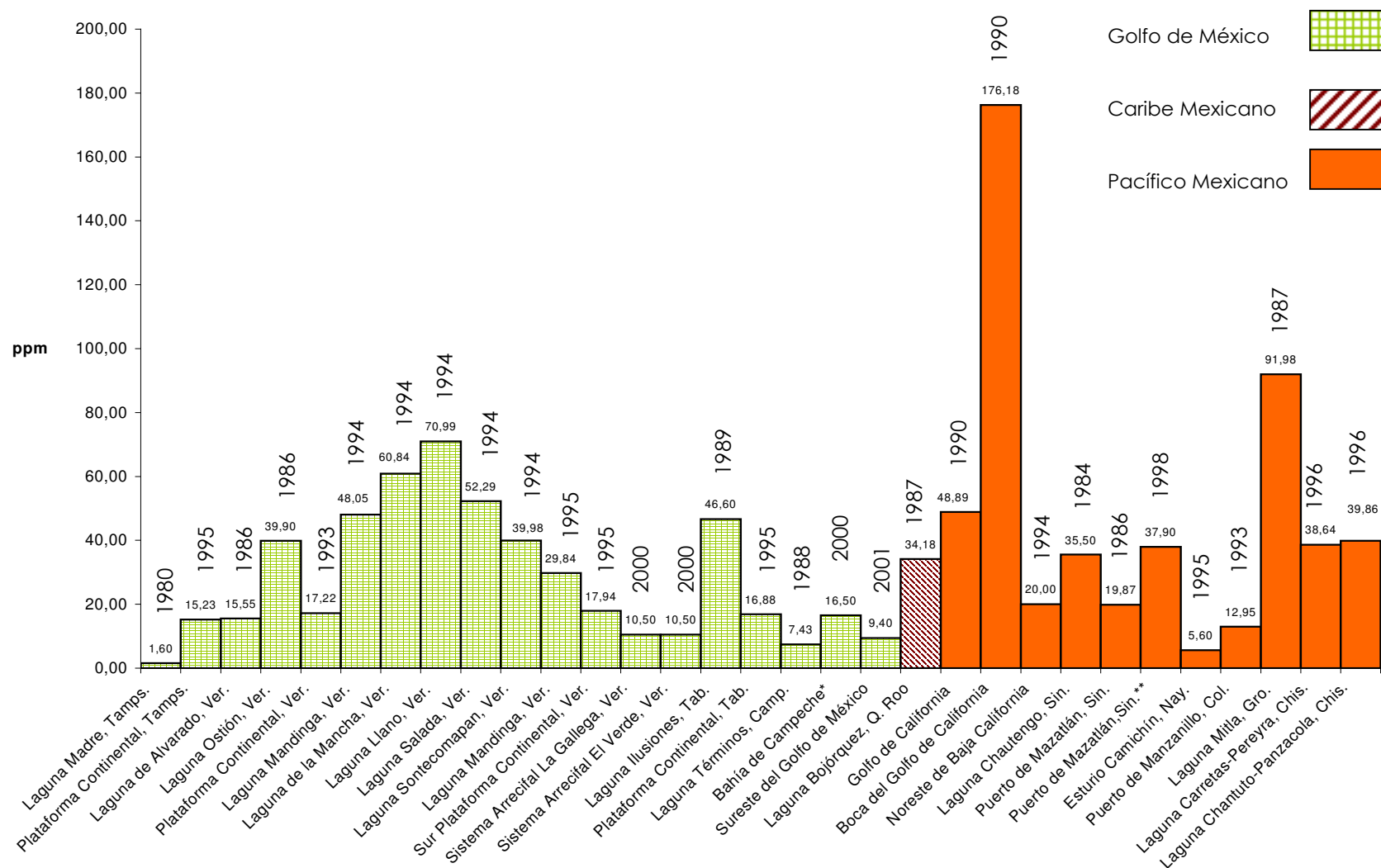


Gráfico 5. Concentración de cobre (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano

Niveles de níquel

En la Tabla 7 se desglosa el listado de los datos reportados de la concentración de níquel en sedimentos en diferentes regiones del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano, y en la Gráfica 6 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

Tamaulipas registró un incremento en el nivel de níquel de 1980 a 1995, para la Laguna Madre (1980) se reportaron 3 ppm de níquel en sedimentos, 15 años después para la Plataforma Continental Tamaulipas se registraron 26.82 ppm.

En los años 80's para Veracruz se reportaron para la Laguna Alvarado 47.7 ppm de níquel en sedimentos y para la Laguna Ostión se reportaron 50.7 ppm de níquel en sedimentos, ambos en 1986. Ya entrados los 90's se reportó un valor menor comparado con los reportados anteriormente para la región de Veracruz. En la Plataforma Continental de Veracruz se encontraron 18.65 ppm de níquel.

En 1994 se reportó el valor más alto para el estado de Veracruz en la Laguna Sontecomapan (73.36 ppm), siguiéndole en orden decreciente la Laguna de la Mancha con 61.42 ppm, la Laguna Llano con 49.74 ppm, la Laguna Salada con 37.74 ppm y la Laguna Mandinga con 25.57 ppm.

En 1995 se reportó para la Laguna Mandinga un valor mayor comparado con el reportado un año antes para este sitio. Se encontraron 26.29 ppm, por lo que en este sitio hubo un aumento en la concentración de níquel en sedimentos. En el mismo año pero en el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz se reportaron 17.86 ppm, valor que es menor al reportado para Mandinga el mismo año y también menor al registrado en la Plataforma Continental de Tamaulipas (26.82 ppm).

En el año 2000 se encontraron valores menores que los reportados en 1986, pero mayores a los reportados cinco años antes. Para el Sistema Arrecifal el Verde se

reportaron 28.5 ppm y en el Sistema Arrecifal la Gallega se registraron 25.2 ppm de níquel en sedimentos.

En la región del estado de Tabasco se registró un incremento en los niveles de níquel en sedimentos comparando el valor reportado en 1989 con el del año 2000. Para la Laguna Ilusiones se reportaron 58.9 ppm y este valor se incrementó a 91.03 ppm en la Plataforma Continental de Tabasco.

El estado de Campeche presentó en general un incremento en los niveles de níquel en sedimentos. En 1983 se registraron 26 ppm en la Laguna Términos, cinco años después, en 1988 se reportó para el mismo lugar un incremento de casi el doble en la concentración con 50.93 ppm de níquel. En 1994 se reporta un valor menor al de 1988, registrándose en la Plataforma Continental de Campeche 25 ppm, pero se retorna a la tendencia a incrementarse la concentración de níquel en sedimentos cinco años después al reportarse para la Bahía de Campeche en la zona de plataformas petroleras 99.9 ppm, esta es la zona con mayor concentración de níquel reportado en el Golfo de México, lo que se puede atribuir a las actividades petroleras propias de la zona, ya que el níquel es empleado como catalizador en el proceso de refinación de petróleo (Villanueva – Páez-Osuna, 1996).

En el Caribe Mexicano en 1987 los valores son variables pero en forma ascendente en promedio del Caribe Mexicano se reportaron 65.26 ppm de níquel en sedimentos. La Laguna Bojórquez con 86.09 ppm presenta el mayor nivel de níquel en sedimentos reportado en los datos recabados en este estudio, siendo más alto que lo encontrado en la región de Veracruz (la Laguna Sontecomapan con 73.36 ppm). El nivel más alto del Caribe Mexicano se registró, también en 1987, en Puerto Morelos con 99.01 ppm de níquel en sedimentos. Este valor es similar al nivel más alto del Golfo de México (Bahía de Campeche con 99.9 ppm en 2000).

También en 1987 se reportó el valor más alto en la concentración de níquel en sedimentos del Pacífico Mexicano y del país que corresponde a la Laguna Mitla en el estado de Guerrero (con 104.11 ppm).

La concentración de níquel en el Golfo de California presenta una tendencia a disminuir comparando los valores de 1990 y 1994; se reportó en el primer año para el promedio del Golfo de California 44.41 ppm y también en 1990 se reportó para la Boca del Golfo de California 47.94 ppm. Estos valores disminuyen en 1994 al reportarse para el Noreste de Baja California 34.55 ppm de níquel en sedimentos.

Continuando con la tendencia a disminuir la concentración de níquel en sedimentos encontramos que para la región del estado de Sinaloa, en 1984 se encontraron para la Laguna Chautengo 58 ppm, valor que disminuye 3.31 veces en 1986 al registrarse en el Puerto de Mazatlán 17.48 ppm. Doce años después en el mismo puerto en la zona de influencia industrial se registró una disminución a 14.9 ppm de níquel en sedimentos.

Si se comparan los datos de concentración reportados en 1995 se concluye que la concentración del Pacífico Mexicano es menor a los del Golfo de México. El Estuario Camichín tuvo ese año 10.7 ppm, valor menor comparándolo a los reportados para la Plataforma Continental de Tamaulipas (26.82 ppm), la Laguna Mandinga (26.29 ppm) o el Sur de la Plataforma Continental de Veracruz (17.86 ppm), todos de 1995.

En 1993 se reportó para el Puerto de Manzanillo una concentración de 77.8 ppm de níquel en sedimentos, valor que es 4.17 veces mayor al compararlo con el reportado en la zona del Golfo de México el mismo año para la Plataforma Continental de Veracruz (18.65 ppm).

Los datos reportados son variados, al paso de los años existen tendencias a incrementarse los valores de concentración de níquel en sedimentos en las diferentes zonas del litoral mexicano. Hay excepciones en Veracruz, en el Golfo

de California y en Sinaloa. Si comparamos los valores más altos de cada zona encontramos que en orden de mayor a menor concentración de níquel comenzamos por el Pacífico Mexicano, le sigue el Golfo de México y por último el Caribe Mexicano. Cabe señalar que entre estos valores la diferencia aritmética es mínima.

Tabla 7. Concentración de níquel (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Madre, Tamps.	3.00	± 0.3	Pulich, 1980
Plataforma Continental, Tamps.	26.82	± 16.71	Ponce, 1995
Laguna de Alvarado, Ver.	47.77	± 23.83	Rosales et.al., 1986 b
Laguna Ostión, Ver.	50.7	± 18.63	Páez Osuna, et.al. 1986
Plataforma Continental, Ver.	18.65	± 18.66	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	25.57		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	61.42	± 15.34	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	49.74	± 23.58	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	37.74	± 20.58	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	73.36	± 56.90	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	26.29	± 7.97	Hernández et. al.,1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	17.86	± 19.72	Ponce, 1995
Sistema Arrecifal La Gallega, Ver.	25.2	± 2.27	Tovar, 2000
Sistema Arrecifal El Verde, Ver.	28.5	± 1.0	Tovar, 2000
Laguna Ilusiones, Tab.	58.9	± 12.60	Valencia, 1989
Plataforma Continental, Tab.	91.03	± 29.85	Ponce, 1995
Laguna Términos, Camp.	26.00		Botello, 1983
Laguna Términos, Camp.	50.93	± 40.33	Ponce, 1988
Plataforma Continental, Camp.	25.00	± 17.50	Rosales et. al., 1994
Bahía de Campeche*	99.9	± 3.2	Villanueva, 2000
Sureste del Golfo de México	71.3		Vázquez et. al., 2001
Caribe Mexicano	65.26		De León, 1987
Laguna Bojórquez, Q. Roo	86.09		De León, 1987
Puerto Morelos, Q. Roo	99.01		De León, 1987
Golfo de California	44.41	± 19.40	Páez-Osuna et. al., 1990
Boca del Golfo de California	47.94	± 102.3	Páez-Osuna et. al., 1990
Noreste de Baja California	34.55	± 6.88	Rosales et. al.,1994
Laguna Chautengo, Sin.	58.00	± 4.24	Páez-Osuna et. al., 1984
Puerto de Mazatlán, Sin.	17.48	± 1.52	Osuna-López et. al.,1986
Puerto de Mazatlán, Sin.**	14.9	± 7.3	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	10.7		Páez-Osuna et. al., 1995
Puerto de Manzanillo, Col.	77.80	± 56.19	Guerrero 1993
Laguna Mitla, Gro.	104.11	± 56.89	Páez-Osuna et.al., 1987

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

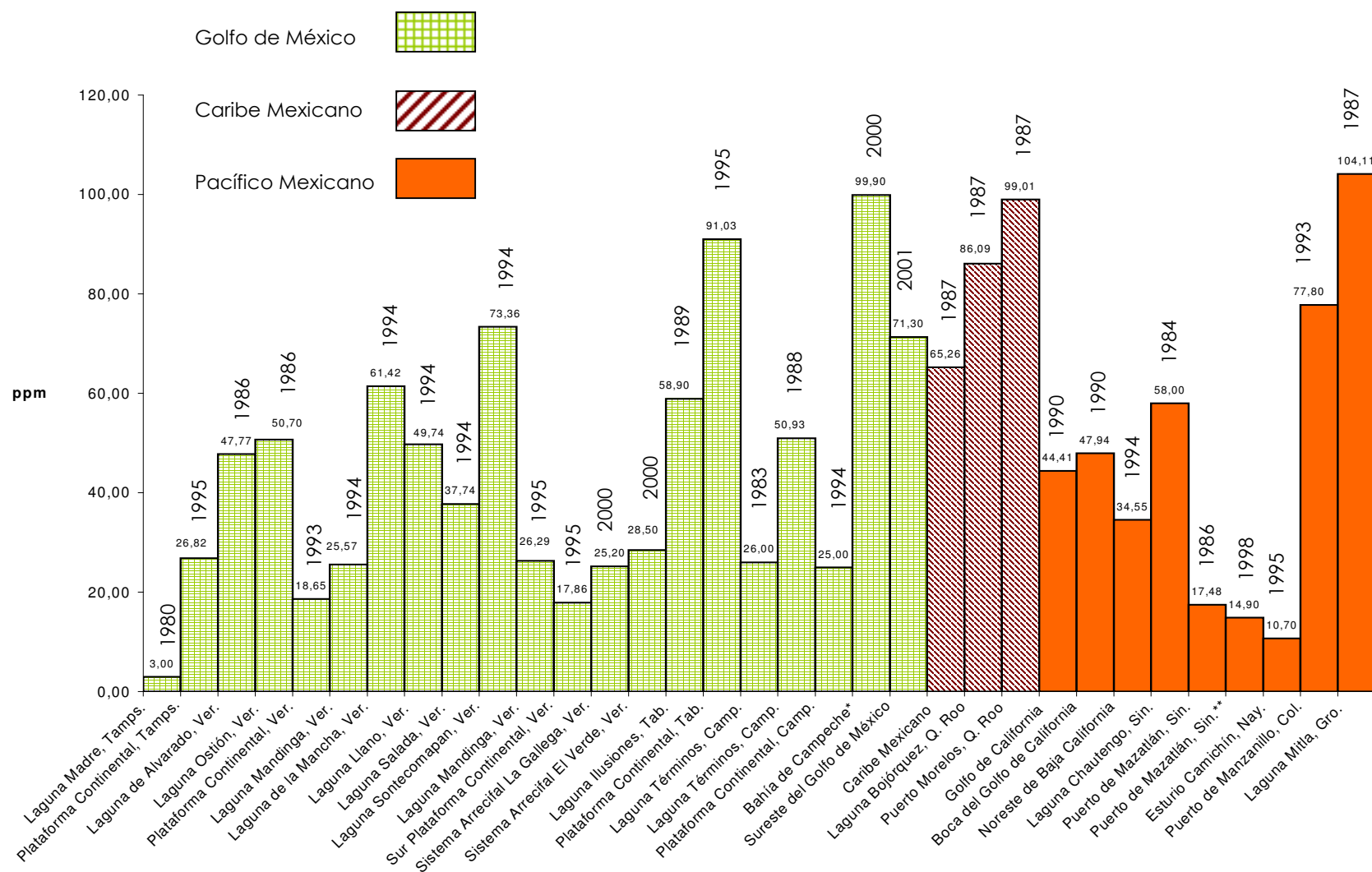


Gráfico 6. Concentración de níquel (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano

Niveles de zinc

En la Tabla 8 se desglosa el listado de los datos reportados de la concentración de zinc en sedimentos en diferentes regiones del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano; y en la Gráfica 7 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

La región del estado de Tamaulipas registró un aumento en la concentración de zinc en sedimentos, ya que en 1980 había en la Laguna Madre 4 ppm y este valor se aumenta 17.9 veces en quince años cuando en 1995 para la Plataforma Continental de Tamaulipas se reportaron 71.67 ppm.

El estado de Veracruz presenta una tendencia a aumentar a mediados de 1994, año en el que se reportó el valor de mayor concentración para este estado, y posteriormente hay una disminución en los niveles de concentración. Para el 2000, inclusive hay valores menores a los reportados en la década de los 80's.

Para la Laguna Alvarado en 1986 se reportaron 80.72 ppm. En el mismo año se registró en la Laguna Ostión un valor en la concentración de zinc de 62.1 ppm. En 1993 se registra un valor menor a los mencionados anteriormente, cuando para la Plataforma Continental de Veracruz se reportaron 34.15 ppm.

Como mencioné anteriormente, en 1994 se registró el valor más alto de concentración de zinc en sedimentos en Veracruz. Este valor se reportó para la Laguna Salada (107.95 ppm). Le siguen en orden decreciente de magnitud para el mismo año: la Laguna de la Mancha con 92.11 ppm, la Laguna Llano con 86.97 ppm, la Laguna Mandinga con 69.33 ppm y la Laguna Sontecomapan con 44.94 ppm de zinc en sedimentos.

La Laguna Mandinga registró una disminución en la concentración de zinc en sedimentos de 1994 a 1995, ya que en este último año se reportaron 47.88 ppm contra 69.33 ppm reportadas un año antes. También en 1995 el Sur de la

Plataforma Continental de Veracruz reportaron 33.18 ppm, valor menor a cualquiera de los reportados un año antes, por lo que se aprecia que de 1994 a 1995 en la región hubo una disminución de zinc en sedimentos.

En 2000 se registran valores menores a 1995 en Veracruz, para el Sistema Arrecifal la Gallega se encontraron 25.5 ppm y para el Sistema Arrecifal el Verde se reportaron 32.3 ppm. Esto nos indica que para el final de la década de los 90's la tendencia es a disminuir los niveles de concentración de zinc en sedimentos de la región.

Tabasco registró el segundo valor más alto en concentración de zinc en sedimentos para la Laguna Ilusiones, se encontraron 227.1 ppm en el año 1989, pero este valor disminuye considerablemente en el año 1995 a 84.36 ppm para la Plataforma Continental de Tabasco.

Campeche registra una disminución en el nivel de zinc en sedimentos de 1983 a 1994, ya que se reportaron en 1983 para la Laguna Términos 21 ppm, mientras que cinco años después se reportaron 20.43 ppm para el mismo sitio, y en 1994 en la Plataforma Continental de Campeche se registraron 20 ppm de zinc en sedimentos. Esta tendencia se revierte en 2000 cuando para la Bahía de Campeche se reportaron 99.0 ppm, valor correspondiente para la zona de plataformas petroleras.

En 1987 el Caribe Mexicano reportó valores menores que los recabados para la región del estado de Veracruz de cualquier año. El valor más alto se registró en el promedio para el Caribe Mexicano con 20.73 ppm, le sigue el reportado para la Laguna Bojórquez con 14.04 ppm y mas atrás en magnitud está el reportado para Puerto Morelos con 5.31 ppm.

Contrario a lo anterior, en el Pacífico Mexicano se registraron los valores más altos en concentración de zinc en sedimentos. En la Boca del Golfo de California se registró el valor más alto en el Pacífico Mexicano y en el país, con 254.81 ppm,

valor que disminuye para el Noreste de Baja California con 49.1 ppm en 1994. Al valor más alto en esta zona le sigue el valor reportado para el Puerto de Manzanillo en Colima con 179.27 ppm de zinc en sedimentos registrado en 1993.

En Sinaloa en 1984 se reportó para la Laguna Chautengo 88 ppm, valor que disminuye en 1986 para el Puerto de Mazatlán a 85.43 ppm. Este valor se incrementa doce años después para el mismo sitio pero en la zona de influencia industrial a 148.3 ppm de zinc en sedimentos.

Si comparamos el valor reportado en el Estuario Camichín (61.3 ppm) en 1995 contra el más alto reportado el mismo año pero en la zona del Golfo de México (Plataforma Continental de Tabasco con 84.36 ppm) entonces en ese año el Pacífico Mexicano presentaría menor concentración de zinc; sin embargo, también en 1995 se reportan otros valores menores (Mandinga con 47.88 ppm y Sur de la Plataforma Continental de Veracruz con 33.18 ppm).

En 1987 para la Laguna Mitla en Guerrero se encontraron 11.27 ppm de zinc en sedimentos, valor superior al reportado el mismo año para Puerto Morelos (5.31 ppm). Este valor del Pacífico Mexicano es menor a los otros reportados en el Caribe Mexicano (Caribe Mexicano con 20.73 ppm y Laguna Bojórquez con 14.04 ppm).

En general podemos decir que en las diferentes zonas no hay una tendencia uniforme al paso de los años de la concentración de zinc en sedimentos; sin embargo, cabe destacar que en el Pacífico Mexicano se registraron las mayores concentraciones, siguiéndoles el Golfo de México y el Caribe Mexicano, quien cierra la lista decreciente en los niveles de zinc en sedimentos.

Tabla 8. Concentración de zinc (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Madre, Tamps.	4.00	± 0.3	Pulich, 1980
Plataforma Continental, Tamps.	71.67	± 33.93	Ponce, 1995
Laguna de Alvarado, Ver.	80.72	± 25.72	Rosales et.al., 1986
Laguna Ostión, Ver.	62.1	± 21.70	Páez Osuna, et.al. 1986
Plataforma Continental, Ver.	34.15	± 33.15	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	69.33		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	92.11	± 15.05	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	86.97	± 17.19	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	107.95	± 25.21	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	44.94	± 26.11	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	47.88	± 17.92	Hernández et. al., 1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	33.18	± 33.82	Ponce, 1995
Sistema Arrecifal La Gallega, Ver.	25.5	± 4.69	Tovar, 2000
Sistema Arrecifal El Verde, Ver.	32.3	± 26.59	Tovar, 2000
Laguna Ilusiones, Tab.	227.1	± 141.60	Valencia, 1989
Plataforma Continental, Tab.	84.36	± 20.81	Ponce, 1995
Laguna Términos, Camp.	21.0		Botello, 1983
Laguna Términos, Camp.	20.43	± 16.02	Ponce, 1988
Plataforma Continental, Camp.	20.00	± 12.00	Rosales et. al., 1994
Bahía de Campeche*	99.00	± 0.8	Villanueva, 2000
Sureste del Golfo de México	64.6		Vázquez et. al., 2001
Caribe Mexicano	20.73		De León, 1987
Laguna Bojórquez, Q. Roo	14.04		De León, 1987
Puerto Morelos, Q. Roo	5.31		De León, 1987
Boca del Golfo de California	254.81	± 79.41	Páez-Osuna et. al., 1990
Noreste de Baja California	49.10	± 32.70	Rosales et. al., 1994
Laguna Chautengo, Sin.	88.0	± 29.70	Páez-Osuna et. al., 1984
Puerto de Mazatlán, Sin.	85.43	± 42.05	Osuna-López et. al., 1986
Puerto de Mazatlán, Sin.**	148.3	± 91.8	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	61.3		Páez-Osuna et. al., 1995
Puerto de Manzanillo, Col.	179.27	± 397.70	Guerrero 1993
Laguna Mitla, Gro.	11.27	± 3.86	Páez-Osuna et.al., 1987

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

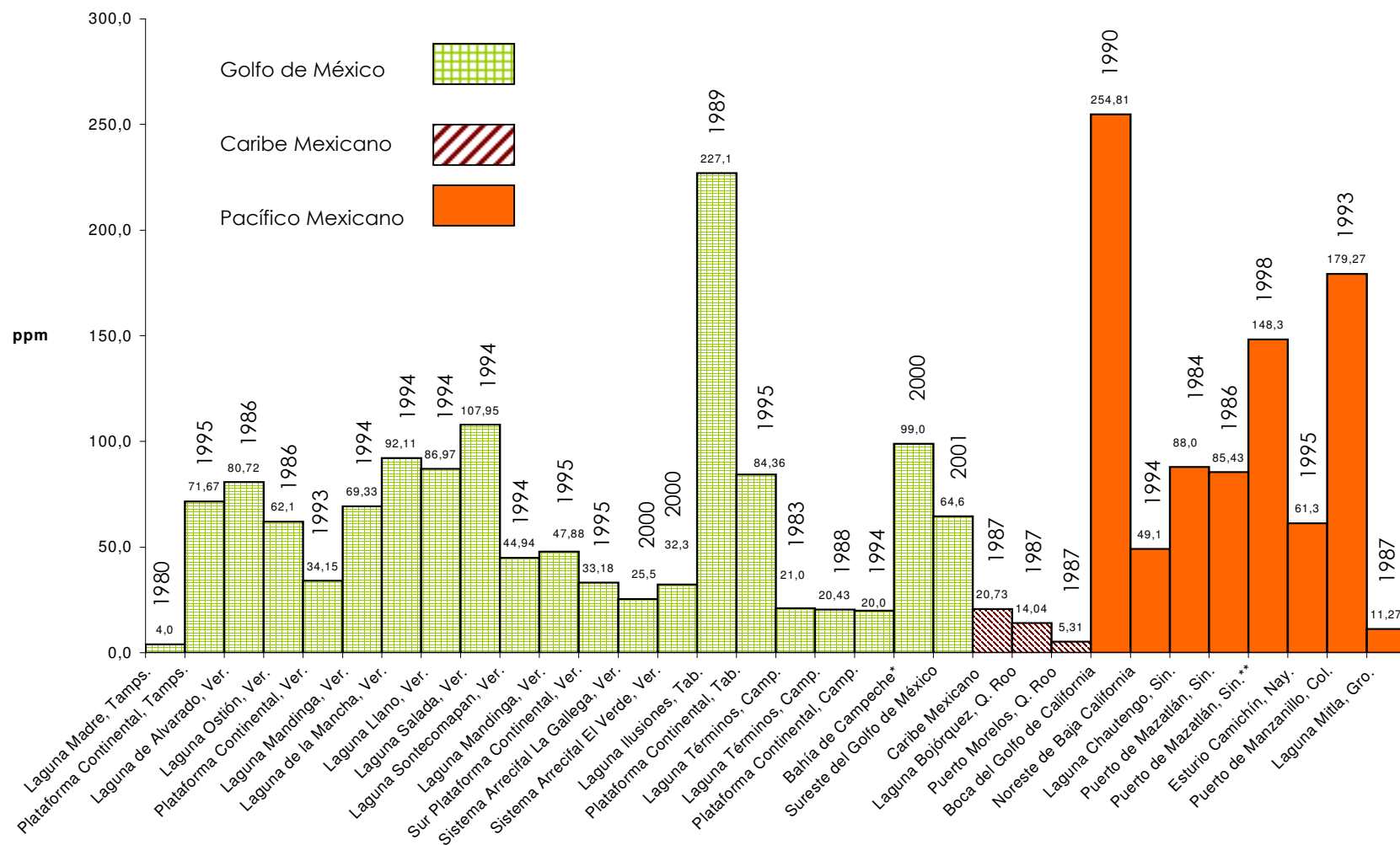


Gráfico 7. Concentración de zinc (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México, Caribe y Pacífico Mexicano

Niveles de cobalto

En la Tabla 9 se desglosa el listado de los datos reportados de la concentración de cobalto en sedimentos en diferentes regiones del Golfo de México y el Pacífico Mexicano; y en la Gráfica 8 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

Para la Plataforma Continental de Tamaulipas se reportaron 6.39 ppm de cobalto en sedimentos, valor menor a los reportados en el mismo año comparándolo con la Laguna Mandinga (31.06 ppm), la Plataforma Continental de Veracruz (21.18 ppm), la Plataforma Continental de Tabasco (14.35 ppm) e inclusive el valor reportado para el Estuario Camichín en Nayarit (8.9 ppm).

Los valores más altos en concentración de cobalto en sedimentos del Golfo de México se reportaron en los 80's en la región del estado de Veracruz. En 1986 para la Laguna Alvarado se encontraron 36.26 ppm, el de mayor concentración, y en 1987 se registraron en la Laguna Ostión 35.8 ppm. Posteriormente estos valores disminuyen en los años subsecuentes. A pesar de que de 1993 a 1994 se presentan datos con una tendencia a incrementar la concentración de cobalto en sedimentos, no se llegan a registrar valores tan altos como en 1986.

En 1993 se registran en la Plataforma Continental de Veracruz 21 ppm, en el año siguiente se presenta una tendencia de incremento en los niveles de cobalto en sedimentos. Para 1994 la Laguna Mandinga tenía 22.89 ppm, siguiéndole la Laguna Llano con 25.91 ppm, la Laguna de la Mancha con 27.72 ppm, la Laguna Sontecomapan con 29.88 ppm y la Laguna Salada con 32.41 ppm de cobalto en sedimentos.

Se presenta una disminución en los valores que se reportan de 1994 a 1995 en general, aunque cabe señalar que en 1994 para la Laguna Mandinga se encontraron 22.89 ppm y en 1995 para el mismo sitio se reportaron 31.06 ppm, es decir, en particular los niveles de cobalto en sedimentos de este sitio aumentaron.

También en 1995 se reportaron para el Sur de la Plataforma Continental 21.18 ppm y para la Plataforma Continental de Tabasco 14.35 ppm.

En Campeche, de 1988 a 2000 se encuentra un incremento en los niveles de cobalto en sedimentos: para la Laguna de Términos se reportaron 12.3 ppm (1988) y este valor se incrementa comparándolo con el que se registra en la Bahía de Campeche en la zona de plataformas petroleras, ya que se reportaron 30.23 ppm.

En el Pacífico Mexicano se reporta el valor de mayor concentración de cobalto. En 1990 se reportaron para el sitio de Boca del Golfo de California 43.29 ppm. Para el mismo año en el promedio del Golfo de California 16.84 ppm.

La región del estado de Sinaloa registra una disminución del nivel de cobalto al paso de los años, ya que en 1984 se reportaron para la Laguna Chautengo 32.5 ppm, dos años después en el Puerto de Mazatlán se registraron 14.94 ppm, y para el mismo sitio en 1998 este valor se redujo a la mitad cuando se reportó para la zona de influencia industrial 7.9 ppm de cobalto en sedimentos.

Para la Laguna Mitla en Guerrero se reportaron 16.84 ppm en 1987, valor que es menor al reportado el mismo año en el Golfo de México (Laguna Ostión con 35.80 ppm).

En general no se tiene una tendencia clara de la evolución de los niveles de cobalto reportados para las zonas costeras del país. Mientras que en Veracruz al igual que en Sonora existe una tendencia a disminuir el nivel de cobalto en sedimentos, en Campeche la tendencia es a elevarse los niveles. El mayor nivel de cobalto en sedimentos se reporta en el Pacífico Mexicano para el sitio de la Boca del Golfo de California y el de menor concentración se reportó en el Golfo de México para la Plataforma Continental de Tamaulipas.

Tabla 9. Concentración de cobalto (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Plataforma Continental, Tamps.	6.39	± 4.02	Ponce, 1995
Laguna de Alvarado, Ver.	36.26	± 7.49	Rosales et.al., 1986
Laguna Ostión, Ver.	35.8	± 16.80	Villanueva, 1987
Plataforma Continental, Ver.	21.00	± 4.89	Ríos, 1993
Laguna Mandinga, Ver.	22.89		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	27.72	± 11.17	Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	25.91	± 8.14	Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	32.41	± 12.24	Rodríguez, 1994
Laguna Sontecomapan, Ver.	29.88	± 12.15	González et.al., 1994
Laguna Mandinga, Ver.	31.06	± 6.20	Hernández et. al.,1995
Sur Plataforma Continental, Ver.	21.18	± 4.16	Ponce, 1995
Plataforma Continental, Tab.	14.35	± 5.16	Ponce, 1995
Laguna Términos, Camp.	12.3	± 4.70	Ponce, 1988
Bahía de Campeche*	30.23	± 5.8	Villanueva, 2000
Golfo de California	16.84	± 3.92	Páez-Osuna et. al., 1990
Boca del Golfo de California	43.29	± 21.63	Páez-Osuna et. al., 1990
Laguna Chautengo, Sin.	32.50	± 4.95	Páez-Osuna et. al., 1984
Puerto de Mazatlán, Sin.	14.94	± 5.74	Osuna-López et. al.,1986
Puerto de Mazatlán, Sin.**	7.9	± 2.8	Soto, 1998
Esturio Camichín, Nay.	8.9		Páez-Osuna et. al., 1995
Laguna Mitla, Gro.	16.84	± 4.70	Páez-Osuna et.al., 1987

* Área de plataformas petroleras

** Zona industrial

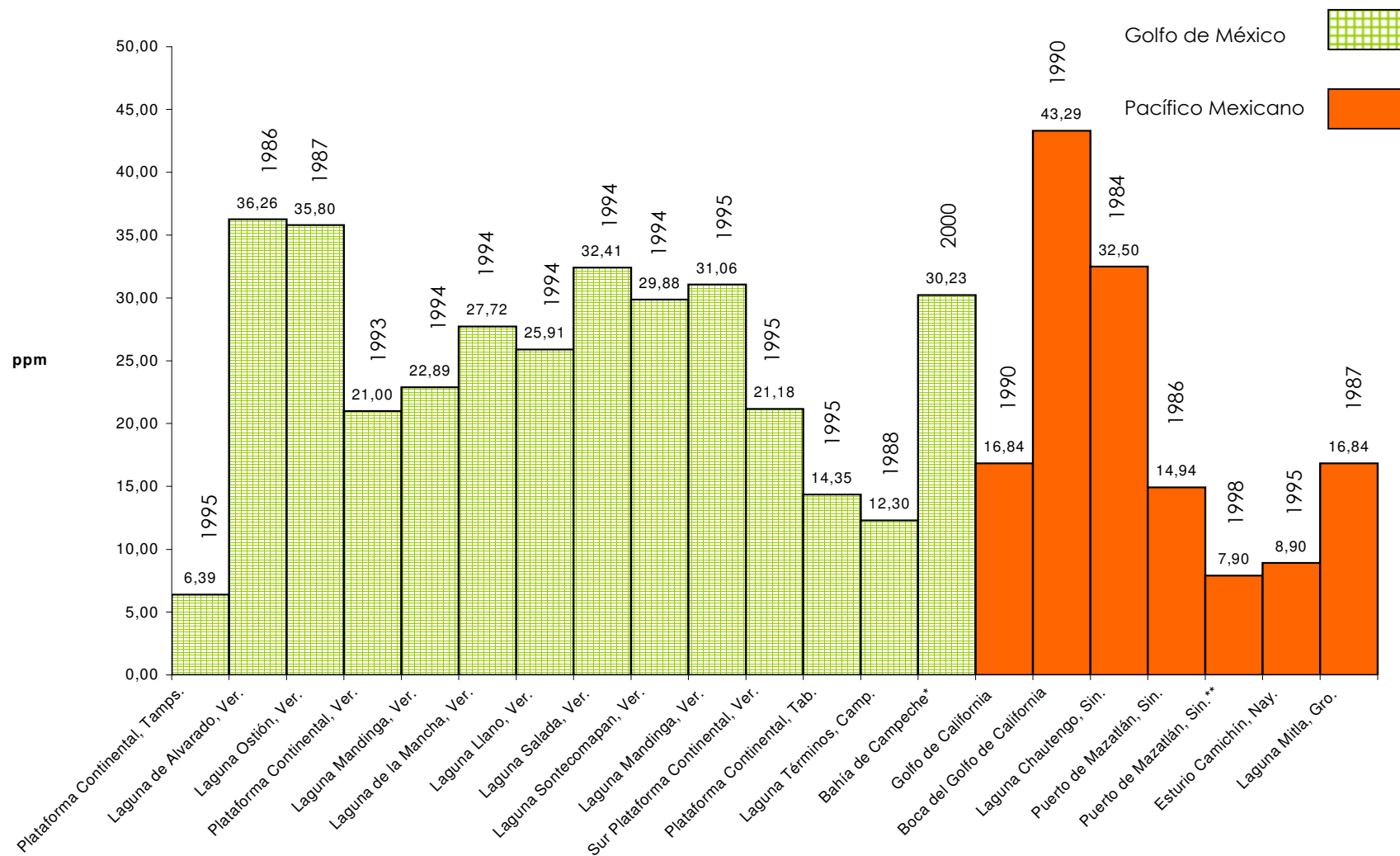


Gráfico 8. Concentración de cobalto (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Niveles de hierro

En la Tabla 10 se desglosa el listado de los datos reportados de la concentración de hierro en sedimentos de diferentes regiones del Golfo de México y el Caribe Mexicano; y en la Gráfica 9 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

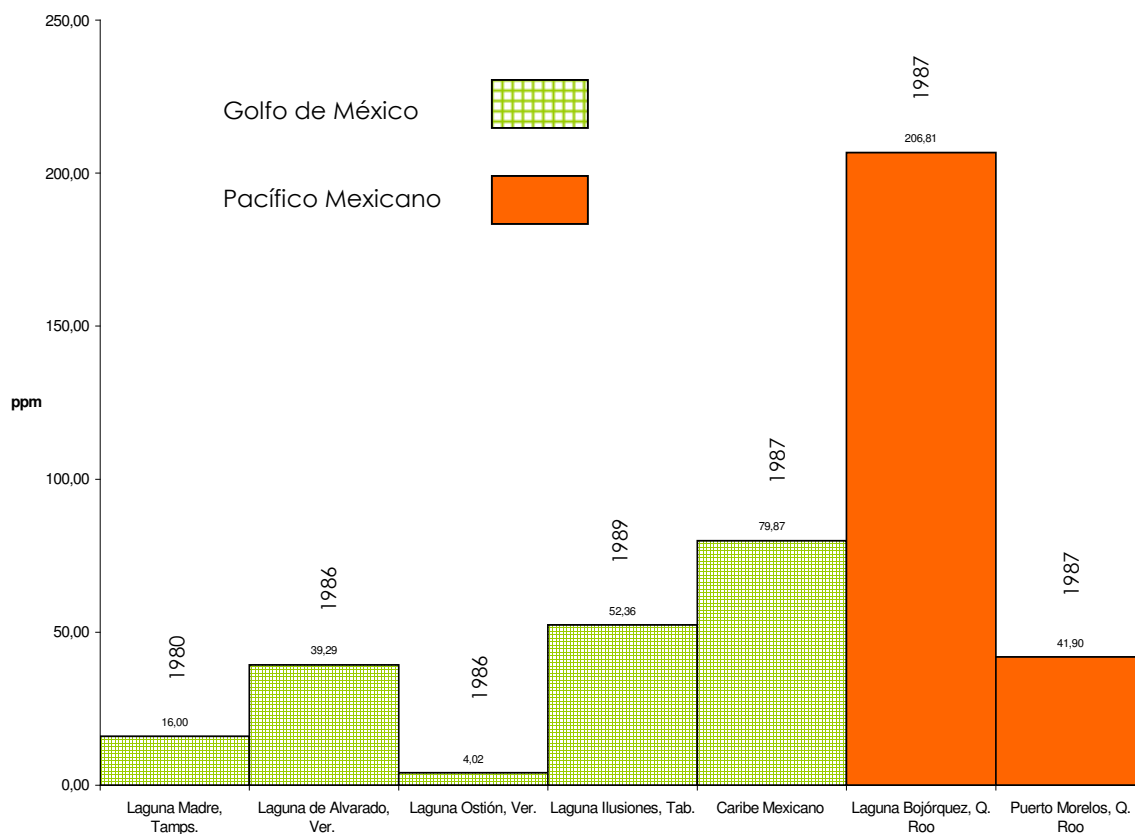
El valor reportado en 1980 para la Laguna Madre en Tamaulipas (16 ppm) es menor que los reportados para el Caribe Mexicano, sin embargo en la región de Veracruz se reportó un valor de menor concentración para la Laguna Ostión en 1986 con 4.02 ppm.

Para Tabasco se registró el valor de mayor concentración de hierro en sedimentos para el Golfo de México con 52.36 ppm, al cual le sigue en concentración el reportado para la Laguna Alvarado con 39.29 ppm en Veracruz.

En el Caribe Mexicano, de los datos recabados en este estudio, se reportaron el valor de mayor concentración de hierro en sedimentos: para la Laguna Bojórquez en 1987 se reportaron 206.81 ppm. Para el promedio del Caribe Mexicano se reportaron 79.87 ppm y en Puerto Morelos 41.9 ppm de hierro en sedimentos.

Tabla 10. Concentración de hierro (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México y Caribe Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Madre, Tamps.	16.0	± 32.5	Pulich, 1980
Laguna de Alvarado, Ver.	39.29	± 30.75	Rosales et.al., 1986 (b)
Laguna Ostión, Ver.	4.02	± 1.72	Páez Osuna, et.al. 1986
Laguna Ilusiones, Tab.	52.36	± 17.62	Valencia, 1989
Caribe Mexicano	79.87		De León, 1987
Laguna Bojórquez, Q. Roo	206.81		De León, 1987
Puerto Morelos, Q. Roo	41.9		De León, 1987



Gráfica 9. Concentración de hierro (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México y Caribe Mexicano

Niveles de manganeso

En la Tabla 11 se desglosa el listado de los datos reportados de la concentración de manganeso en sedimentos en diferentes regiones del Golfo de México y el Pacífico Mexicano; y en la Gráfica 10 se observan las tendencias que se comentan a continuación.

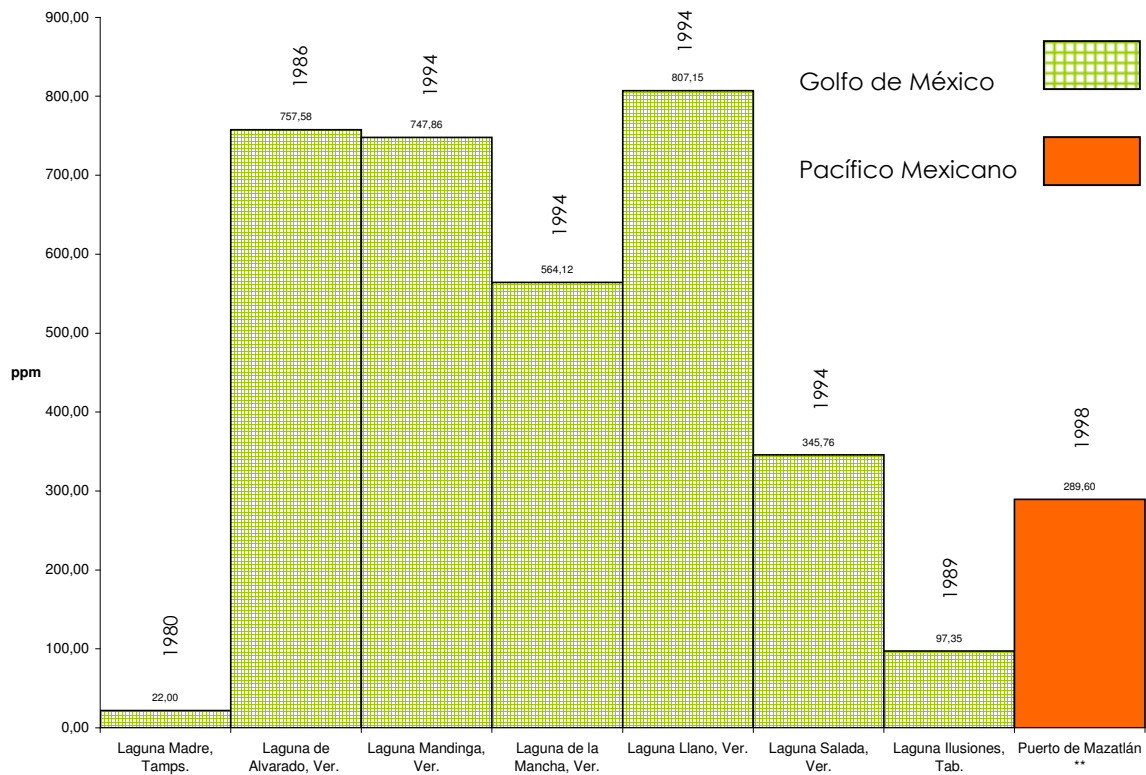
Los niveles de manganeso que se reportan en sedimentos de las lagunas costeras señalan que la concentración más alta reportada es para la Laguna Llano en Veracruz en el año de 1994 (807.15 ppm), mientras que el dato de menor valor es el reportado para la Laguna Madre en Tamaulipas con 22 ppm en el año de 1980.

Si bien se tienen reportados valores en 1994 para sitios de la región del estado de Veracruz, algunos son menores que el reportado en 1986 para la Laguna Alvarado (757.58 ppm). Esto no marca una tendencia clara si consideramos que en 1994 se tiene el registro del valor de mayor concentración en el país. Así, para 1994 en Veracruz se reportaron para la Laguna Mandinga 747.86 ppm, para la Laguna la Mancha 564.12 ppm y para el mismo año se registró en la Laguna Salada 345.76 ppm de manganeso en sedimentos.

Para la zona de influencia industrial del Puerto de Mazatlán en 1998 se reportaron 289.6 ppm, valor que es mayor al reportado para la Laguna Ilusiones (97.35 ppm) en 1989 y también es mayor al de la Laguna Madre (22 ppm) en 1980. Lo anterior no permite relacionar concentración del Pacífico Mexicano con la del Golfo de México.

Tabla 11. Concentración de manganeso (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas Costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

Sitio	Media	σ	Referencia
Laguna Madre, Tamps.	22.0	± 5	Pulich, 1980
Laguna de Alvarado, Ver.	757.58	± 373.24	Rosales et.al., 1986
Laguna Mandinga, Ver.	747.86		Rodríguez, 1994
Laguna de la Mancha, Ver.	564.12		Rodríguez, 1994
Laguna Llano, Ver.	807.15		Rodríguez, 1994
Laguna Salada, Ver.	345.76		Rodríguez, 1994
Laguna Ilusiones, Tab.	97.35	± 53.38	Valencia, 1989
Puerto de Mazatlán **	289.6	± 73.6	Soto, 1998

**Gráfica 10.** Concentración de manganeso (ppm) en sedimentos de Lagunas y Zonas costeras del Golfo de México y Pacífico Mexicano

En general se observa con la revisión histórica las siguientes tendencias del nivel de cada metal revisado en este estudio:

Hg: Golfo de México

Pb: Golfo de México > Pacífico Mexicano

Cd: Golfo de México > Pacífico Mexicano

Cr:: Golfo de México > Pacífico Mexicano

Cu: Pacífico Mexicano > Golfo de México > Caribe Mexicano

Ni: Pacífico Mexicano > Caribe Mexicano > Golfo de México

Zn: Pacífico Mexicano > Golfo de México > Caribe Mexicano

Co: Pacífico Mexicano > Golfo de México

Fe: Pacífico Mexicano > Golfo de México

Mn: Golfo de México > Pacífico Mexicano

Podemos afirmar que los niveles de metales pesados de interés toxicológico en este estudio (mercurio, cadmio, plomo y cromo) tienen un mayor nivel de concentración en el Golfo de México que en el Pacífico Mexicano, por lo que suponemos que el desarrollo de las actividades propias de la región tiene un impacto en el ecosistema costero.

Como parte de los antecedentes de este trabajo, la revisión histórica nos muestra la importancia de tener un análisis de la tendencia que presentan los metales en los diferentes ecosistemas costeros. Una forma de evaluar el impacto que tienen las actividades del hombre sobre estos ecosistemas es con el monitoreo de los niveles de metales pesados; diversos estudios se han dedicado a verificar su concentración en columna de agua, pastos marinos, peces, moluscos, entre otros; en este estudio se ha presentado de forma general una recopilación de los datos reportados en la literatura de niveles de metales en sedimentos en las zonas costeras del país. No es una revisión completa pero es un punto de partida para la continuidad de este diagnóstico. Como parte de este trabajo se realizó la determinación de metales pesados en lirio con la técnica PIXE, evaluamos dos sitios uno en el Golfo de México y el otro en el Pacífico Mexicano, para con esto completar la historia.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

- I. Si las concentraciones de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de Chachalacas, Veracruz y de Melaque, Jalisco presentan valores diferentes, entonces podremos determinar cuál de los dos lugares presenta posibles problemas de contaminación.
- II. En el Golfo de México las actividades antropogénicas son más intensas que en la zona del Pacífico Mexicano, por lo que si las concentraciones de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de Chachalacas, Veracruz son más altas que en Melaque, Jalisco, entonces puede ser que exista una influencia directa de tipo antropogénico.
- III. La *Eichhornia crassipes* es una planta hidrófita flotante por lo que si las raíces se encuentran en contacto directo con una fuente rica en metales pesados, entonces la concentración en raíces será mayor que en hojas o tallos.

OBJETIVOS

- Determinar la concentración de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de Chachalacas, Veracruz y Melaque, Jalisco.
- Hacer un estudio comparativo sobre los niveles de metales pesados determinados en *Eichhornia crassipes* de Chachalacas y Melaque.
- Analizar el comportamiento de la concentración de metales pesados en raíces, hojas y tallos de *Eichhornia crassipes* para determinar en dónde se presenta una mayor bioacumulación.
- Evaluar el nivel de contaminación por metales pesados en ambos sitios y comparar la contaminación relativa de estos lugares con datos reportados en la literatura.

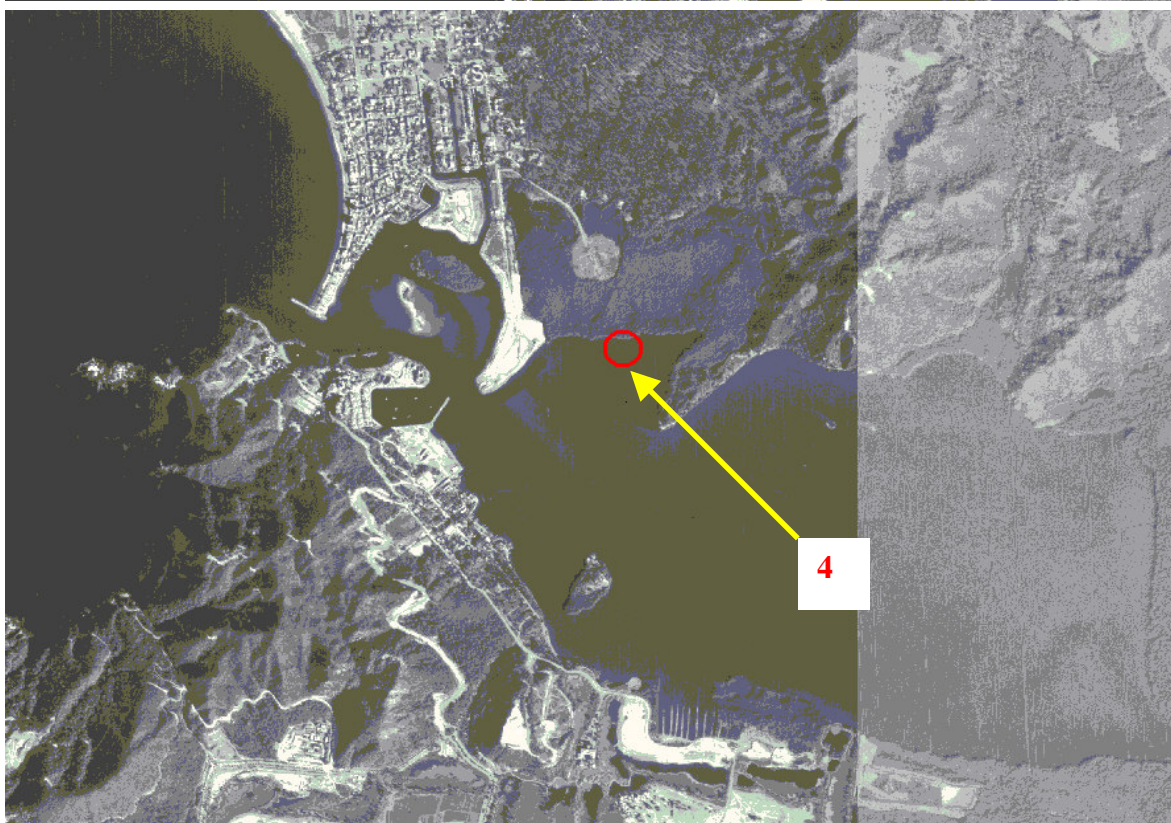
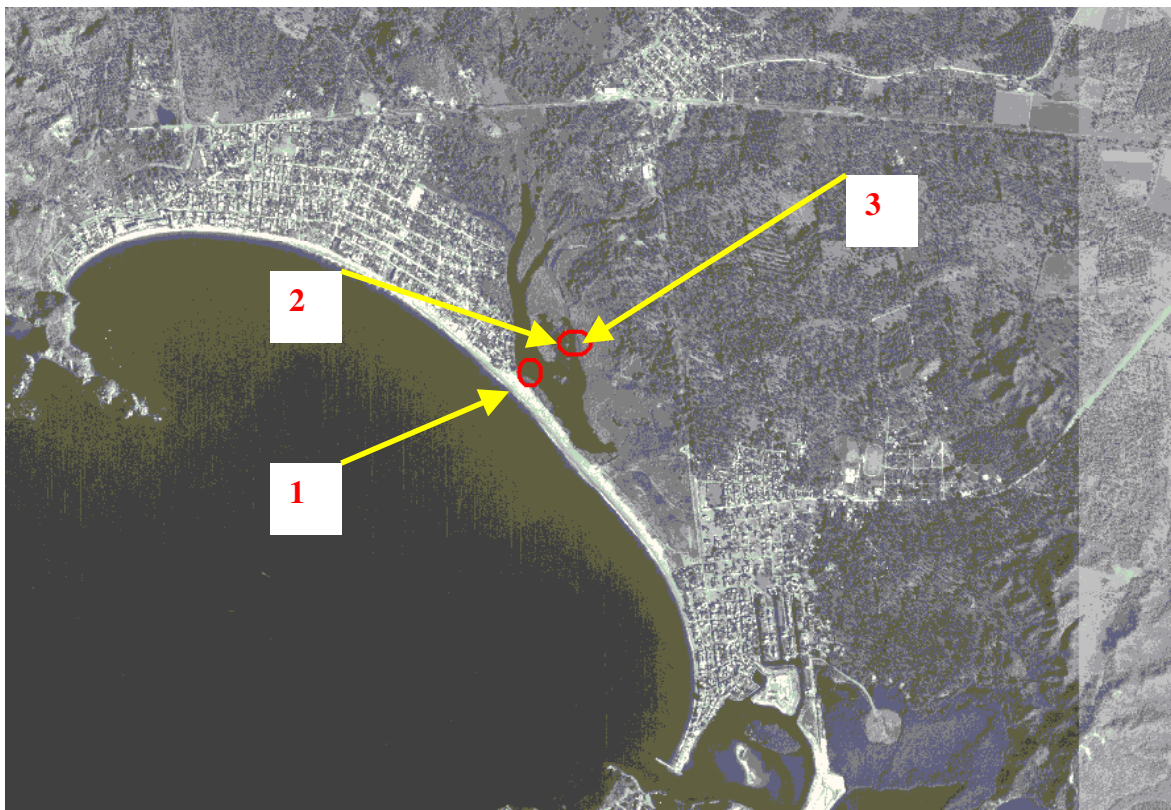
METODOLOGÍA

Las zonas de estudio fueron Chachalacas en Veracruz y Melaque en Jalisco. Para el diagnóstico sobre la concentración de metales pesados en estas áreas se recolectó lirio acuático, *Eichhornia crassipes*, en cinco sitios diferentes (uno en Chachalacas y cuatro en Melaque). Se determinó la concentración de vanadio, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, arsénico, selenio, bromo, rubidio, estroncio, zirconio, paladio, cadmio, mercurio y plomo por la técnica PIXE.

A continuación en la Tabla 12 se enumeran los sitios muestreados con el correspondiente lugar al que pertenecen, la referencia con la cuál para mayor facilidad de manejo se le nombró al lugar y en qué figura se muestra la ubicación en imagen satelital del sitio en donde se colectaron las muestras.

Tabla 12. Sitios de muestreo en las zonas de estudio

Sitio	Lugar	Referencia	Figura
1	Laguna El Tule (Los Otates) Lado Poniente, cerca de la playa.	"Casa"	6
2	Laguna El Tule (Los Otates) Lado Oriente, debajo del puente del Río Seco (Jaluco).	"Jaluco 1"	6
3	Laguna El Tule (Los Otates) Lado Oriente, debajo del puente del Río Seco (Jaluco), lirio con flores	"Jaluco 2"	6
4	Albufera de Barra Navidad Lado Oriente, debajo del puente del Río Marabasco	"Puente Barra Navidad"	7
5	Chachalacas, Veracruz	"Veracruz"	8



Figuras 6 y 7. Bahía y Albufera de Navidad, respectivamente (Fuente: INEGI, 2002)

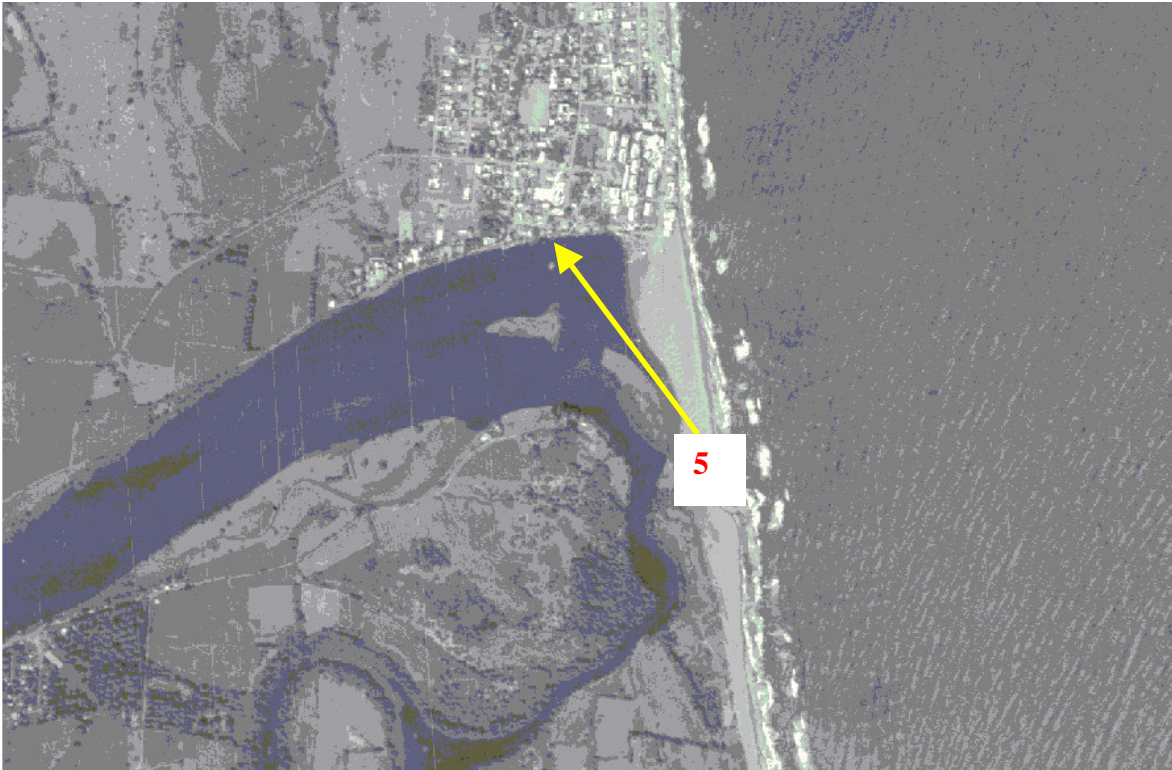


Figura 8. Barra de Chachalacas (Fuente: INEGI, 2002)

Parte experimental

Las muestras fueron recolectadas en ambos sitios en el mes de octubre de 2004. Se hizo la recolección manual de lirio acuático. Posteriormente se llevó a cabo un secado a temperatura ambiente bajo los rayos del sol para no tener exceso de humedad. Las muestras se trasladaron al laboratorio en la ciudad de México.

Preparación de muestras

1. El lirio acuático se separó manualmente en hojas, bulbos y raíces.
2. Una vez separadas se colocaron en una estufa a 50 °C aproximadamente para secarlas por completo.
3. Ya secas, se pulverizaron en un mortero y se pasaron por un tamiz de acero inoxidable del número 100 para tener muestras homogéneas.
4. Se pesaron 0.50 g de muestra y se elaboraron las pastillas para su análisis.

Análisis de muestras

Las muestras fueron analizadas con la técnica PIXE en el Instituto de Física de la UNAM, con la colaboración de la Dra. Corina Solís Rosales. En el Anexo del presente trabajo se explican detalladamente los fundamentos y el funcionamiento de esta técnica experimental.

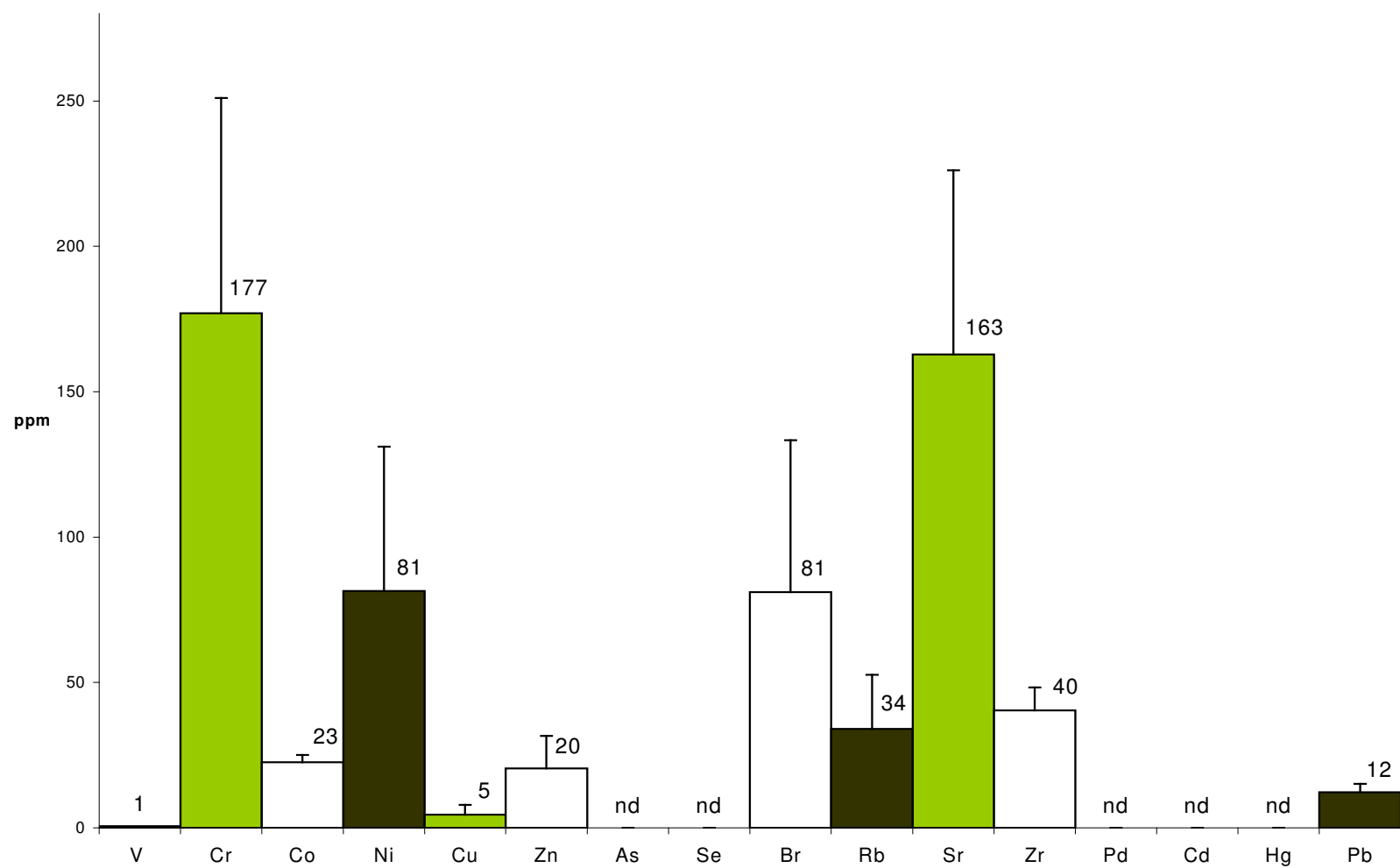
El análisis de la concentración de metales pesados en *Eichhornia crassipes* se realizó en tres muestras diferentes, preparadas de forma independiente para cada sitio y para cada parte del lirio. Los niveles detectados en cada muestra fueron promediados y son los valores que se reportan a continuación.

RESULTADOS

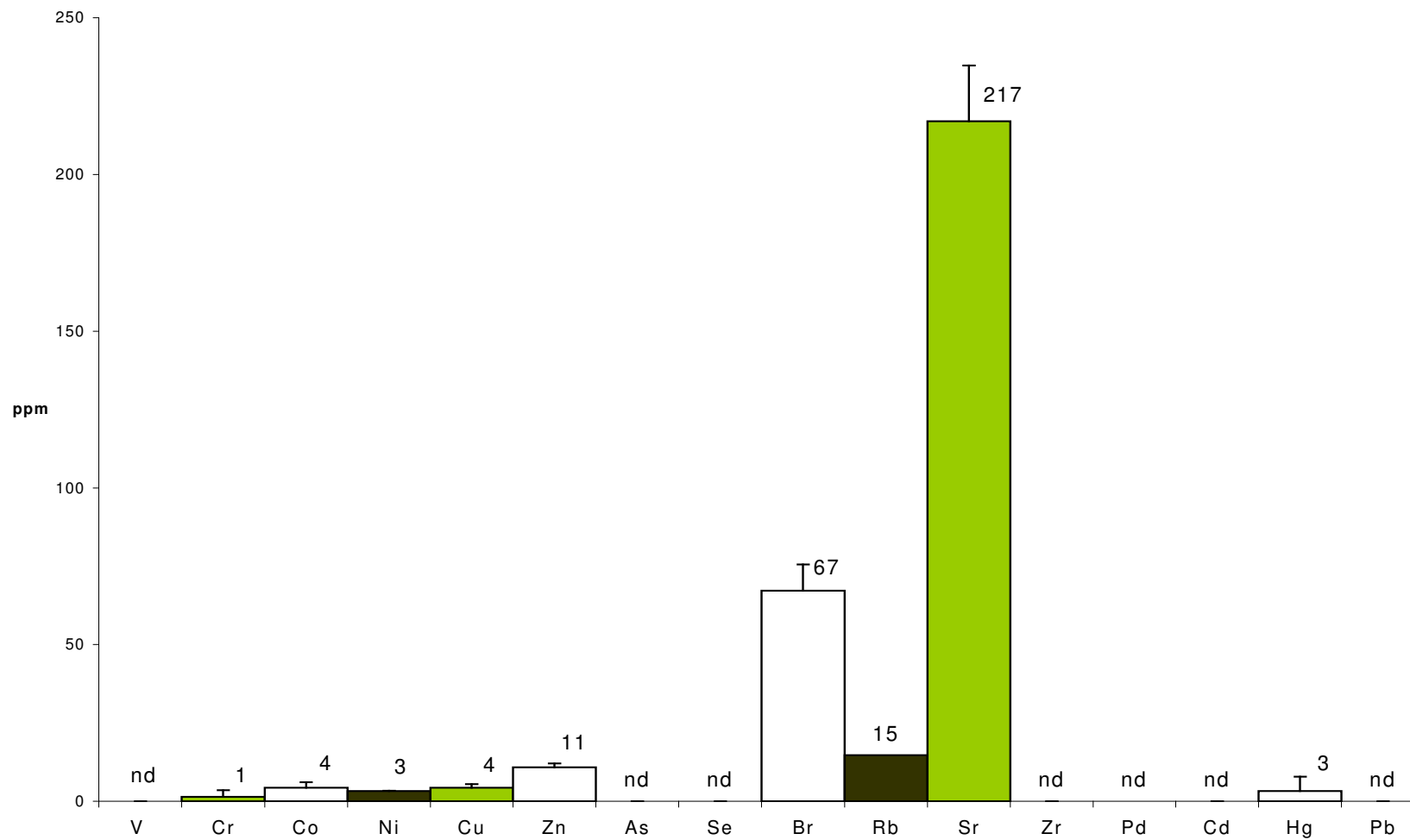
Para el análisis de la concentración de los metales en las muestras de *Eichhornia crassipes* se dividieron las muestras en raíces, bulbos y hojas para cada sitio de muestreo. En este estudio se presentan las concentraciones promedio en ppm de la Laguna El Tule, la Albufera de Barra Navidad en Jalisco y de Barra de Chachalacas en Veracruz. Se presenta en la discusión un comparativo de las concentraciones de metales en raíces, tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* para cada sitio. Así también, en la discusión se presenta un comparativo global para verificar el nivel de metales en los sitios muestreados. A continuación se presentarán los niveles detectados para cada sitio.

Tabla 13. Concentración promedio en ppm de metales en raíces, tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 1 "Casa", Laguna El Tule.

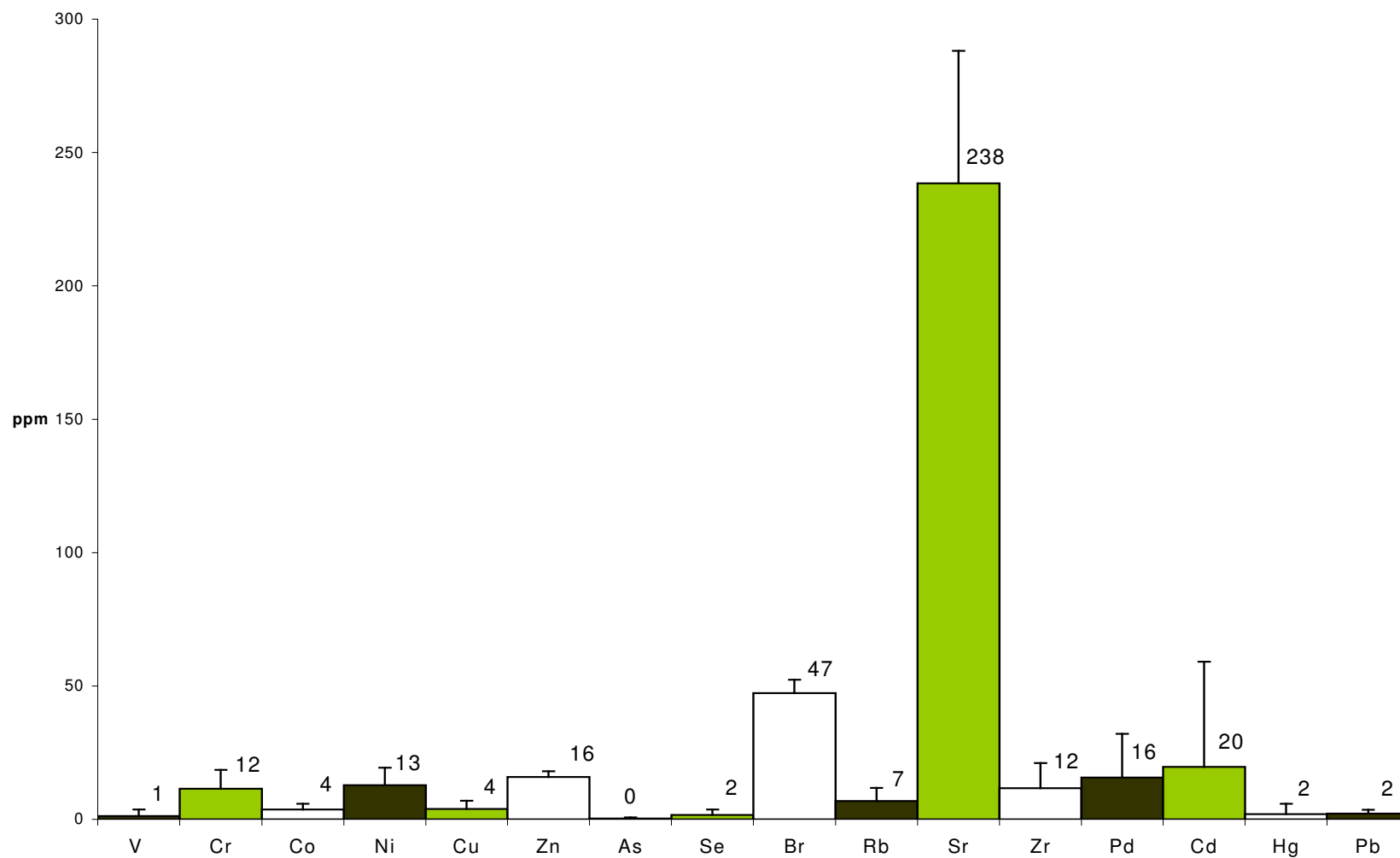
	RAÍCES		TALLOS		HOJAS	
	ppm	σ	ppm	σ	ppm	σ
V	1	0	nd	-	1	2.45
Cr	177	74.01	1	2.08	12	6.99
Co	23	2.45	4	1.73	4	2.20
Ni	81	49.67	3	0.03	13	6.56
Cu	5	3.41	4	1.16	4	3.11
Zn	20	11.25	11	1.24	16	2.15
As	nd	-	nd	-	0	0.49
Se	nd	-	nd	-	2	2.04
Br	81	52.20	67	8.36	47	5.04
Rb	34	18.59	15	-	7	4.88
Sr	163	63.32	217	17.87	238	49.72
Zr	40	7.91	nd	-	12	9.39
Pd	nd	-	nd	-	16	16.46
Cd	nd	-	nd	-	20	39.35
Hg	nd	-	3	4.57	2	3.90
Pb	12	2.86	nd	-	2	1.48



Gráfica 11. Concentración promedio de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* del sitio 1 "Casa" Laguna El Tule



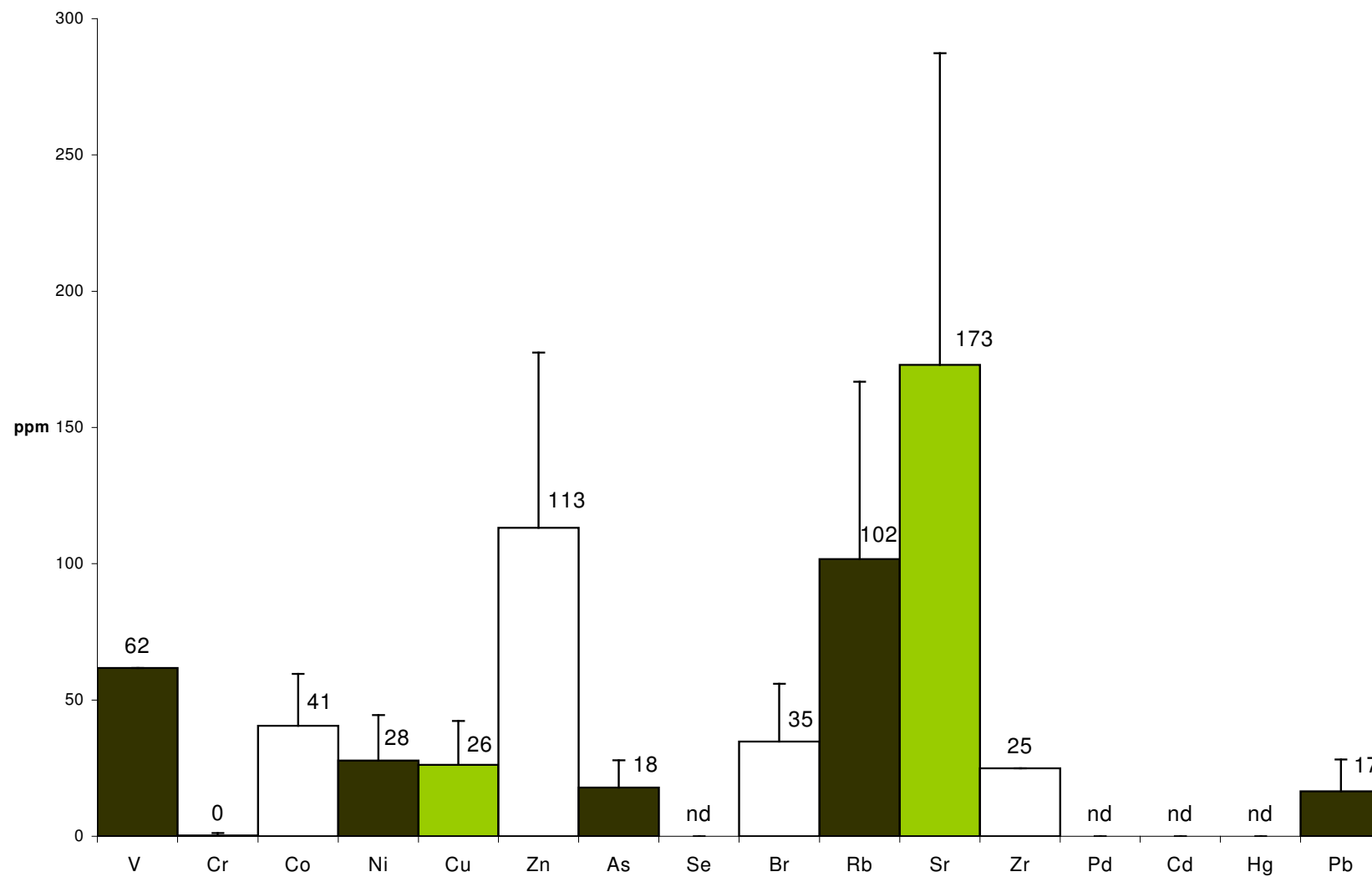
Gráfica 12. Concentración promedio de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* del sitio 1 "Casa" Laguna El Tule



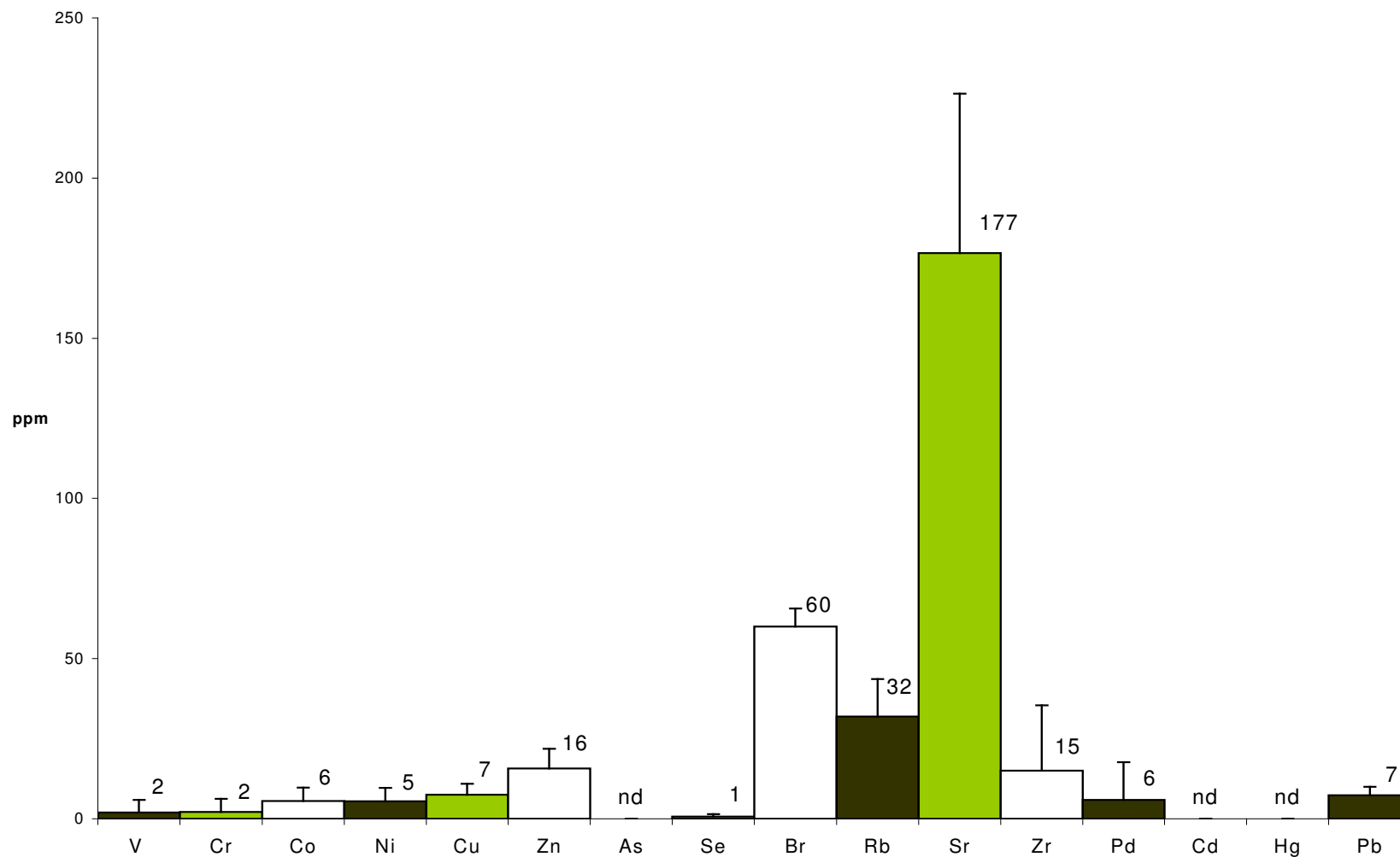
Gráfica 13. Concentración promedio de metales en hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 1 "Casa" Laguna El Tule

Tabla 14. Concentración promedio en ppm de metales en raíces, tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 2 "Jaluco 1", Laguna El Tule.

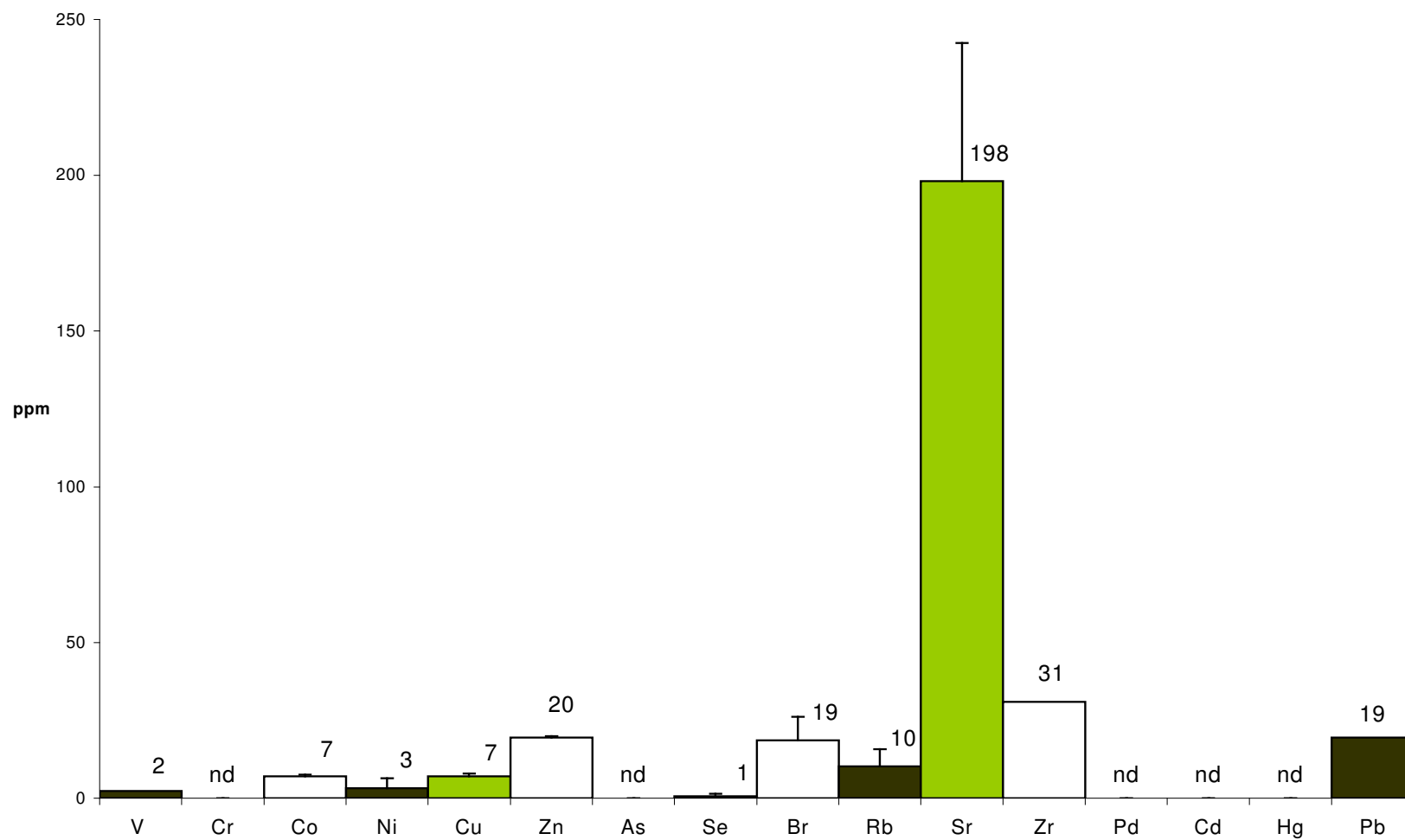
	RAÍCES		TALLOS		HOJAS	
	ppm	s	ppm	s	ppm	s
V	62	0	2	3.90	2	0
Cr	0	0.95	2	4.14	nd	-
Co	41	19.05	6	4.18	7	0.55
Ni	28	16.74	5	4.21	3	3.25
Cu	26	16.11	7	3.48	7	0.87
Zn	113	64.26	16	6.17	20	0.40
As	18	10.00	nd	-	nd	-
Se	nd	-	1	0.78	1	0.87
Br	35	21.18	60	5.65	19	7.60
Rb	102	64.99	32	11.74	10	5.46
Sr	173	114.32	177	49.79	198	44.35
Zr	25	0	15	20.40	31	0
Pd	nd	-	6	11.75	nd	-
Cd	nd	-	nd	-	nd	-
Hg	nd	-	nd	-	nd	-
Pb	17	11.67	7	2.59	19	0



Gráfica 14. Concentración de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* del sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule



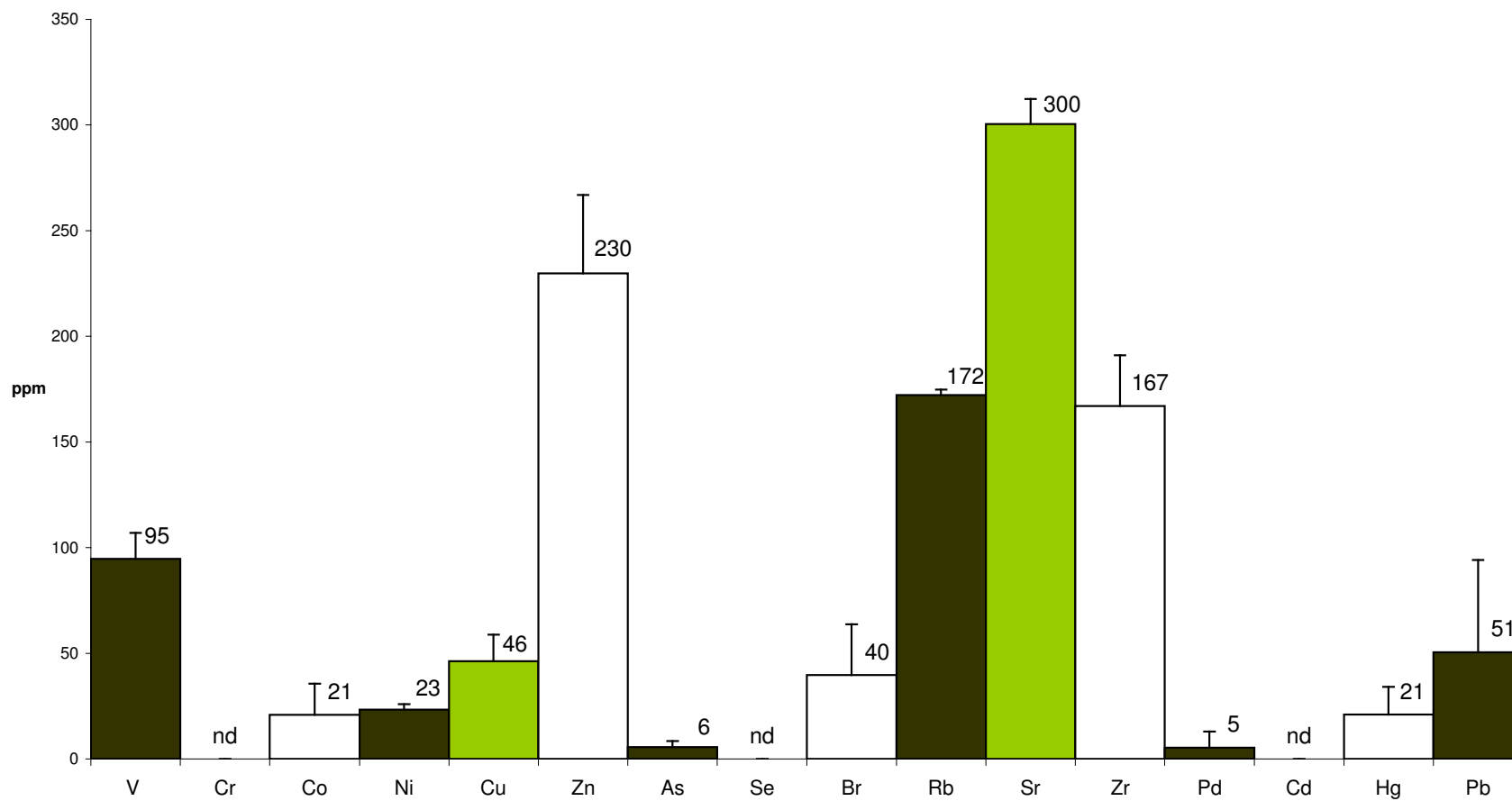
Gráfica 15. Concentración de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* del sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule



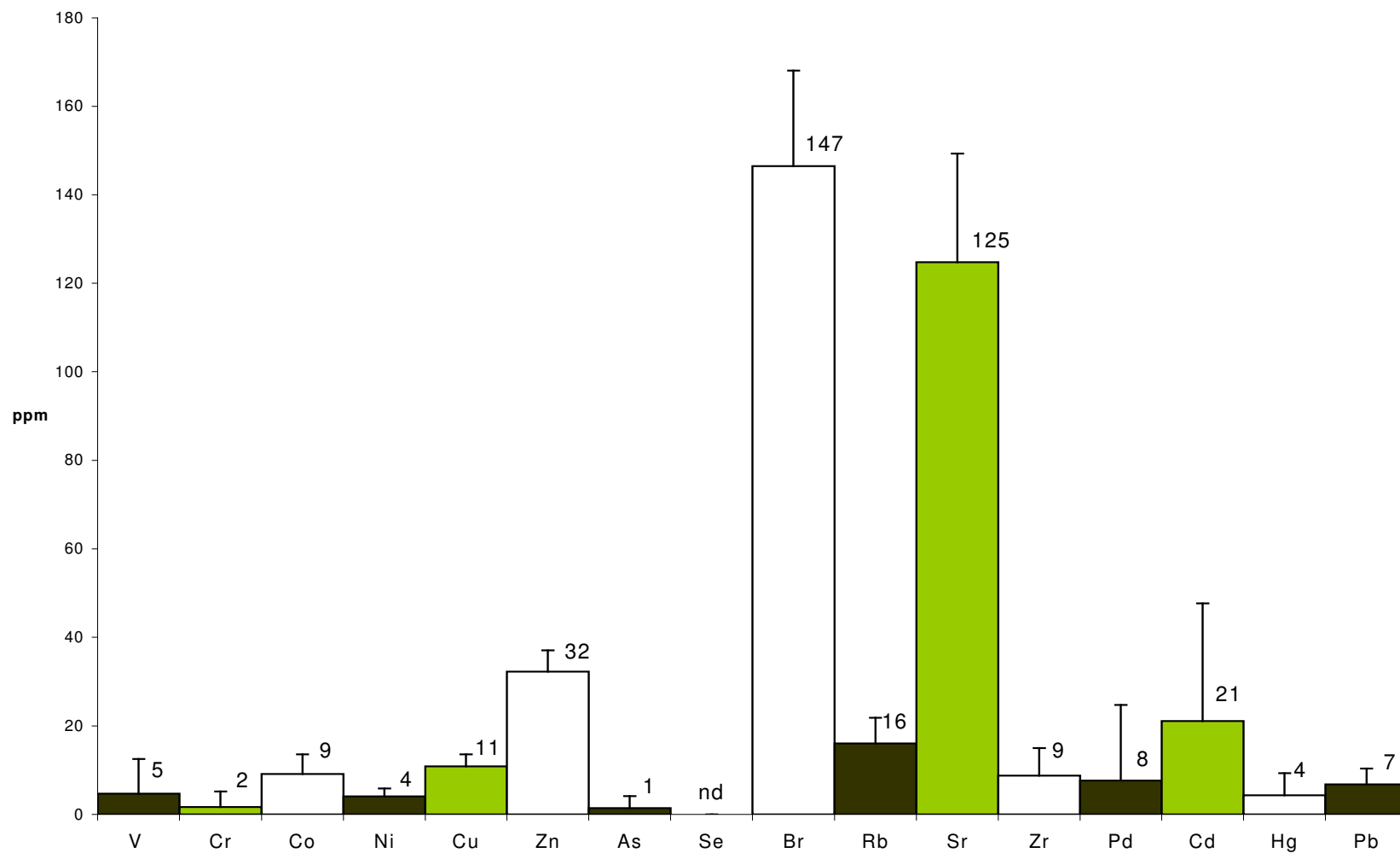
Gráfica 16. Concentración de metales en hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule

Tabla 15. Concentración en ppm de metales en raíces, tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 3 "Jaluco 2", Laguna El Tule.

	RAÍCES		TALLOS	
	ppm	σ	ppm	σ
V	95	12.22	5	7.80
Cr	nd	-	2	3.49
Co	21	14.76	9	4.43
Ni	23	2.67	4	1.79
Cu	46	12.55	11	2.73
Zn	230	37.08	32	4.85
As	6	2.95	1	2.69
Se	nd	-	nd	-
Br	40	23.95	147	21.62
Rb	172	2.62	16	5.80
Sr	300	11.93	125	24.57
Zr	167	24.07	9	6.21
Pd	5	7.59	8	17.08
Cd	nd	-	21	26.53
Hg	21	13.12	4	4.98
Pb	51	43.55	7	3.54



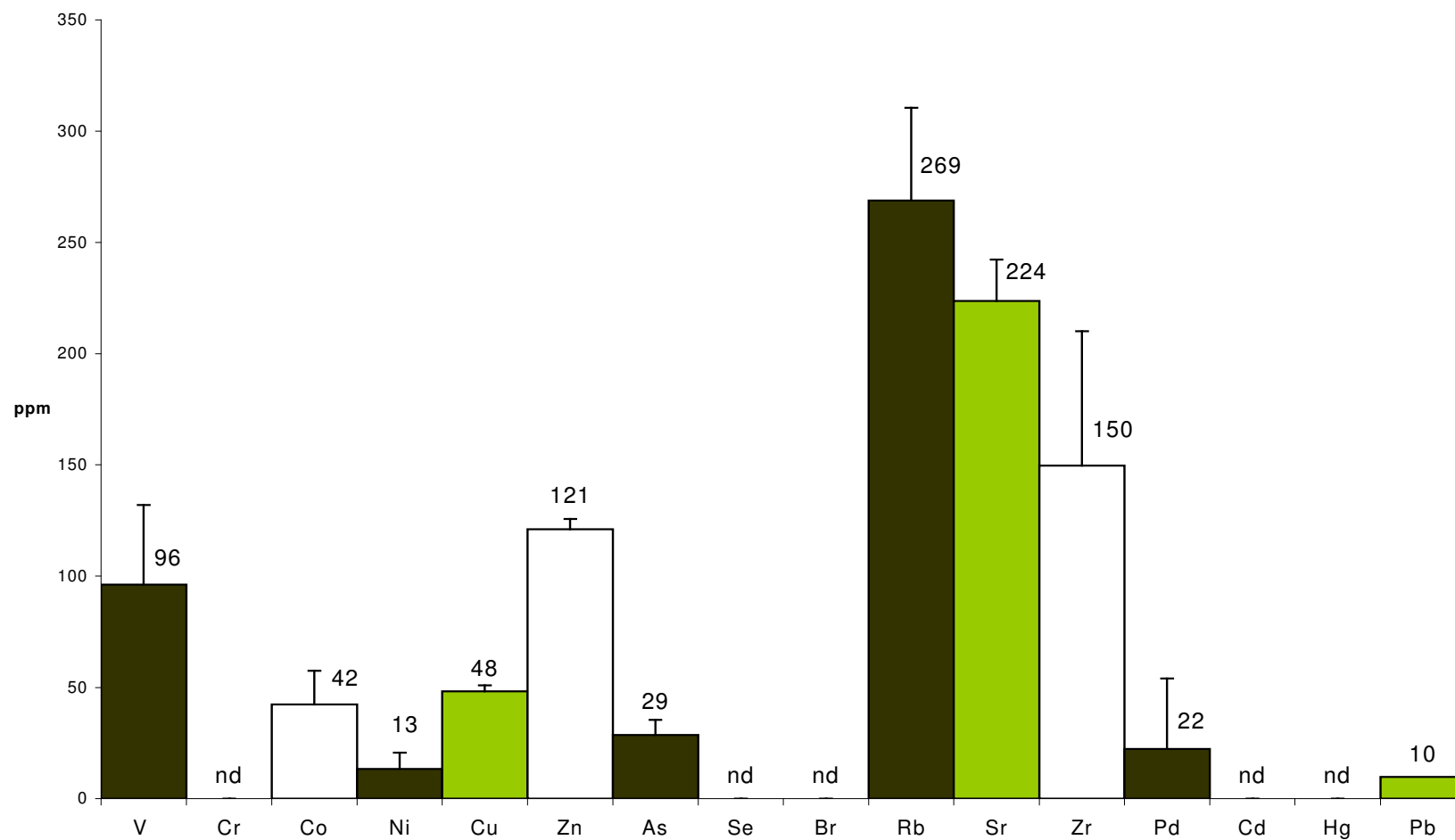
Gráfica 17. Concentración promedio de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* del sitio 3 "Jaluco 2" Laguna El Tule



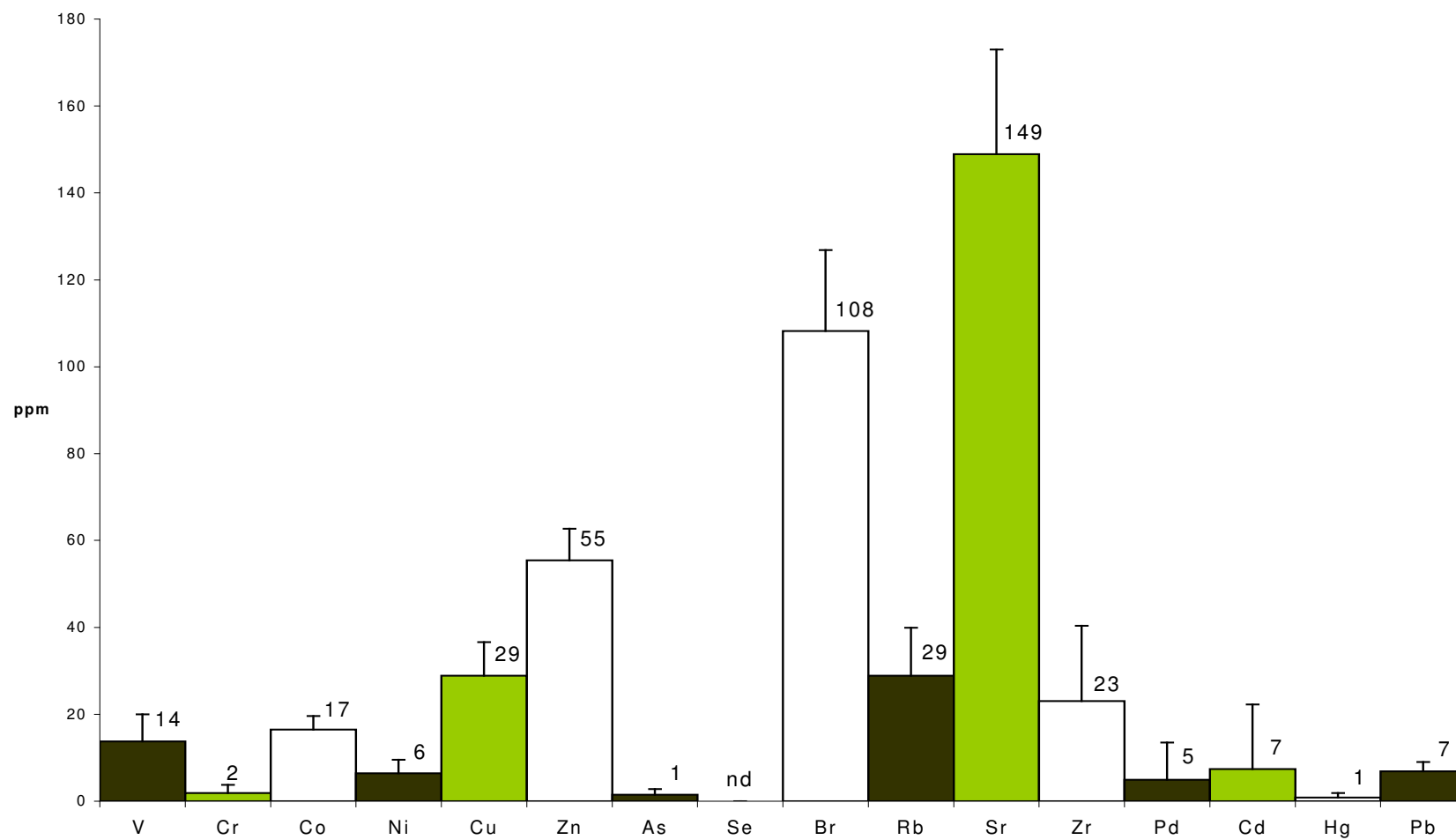
Gráfica 18. Concentración promedio de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* del sitio 3 "Jaluco 2" Laguna El Tule

Tabla 16. Concentración promedio en ppm de metales en raíces, tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 4 "Puente", Albufera Barra Navidad.

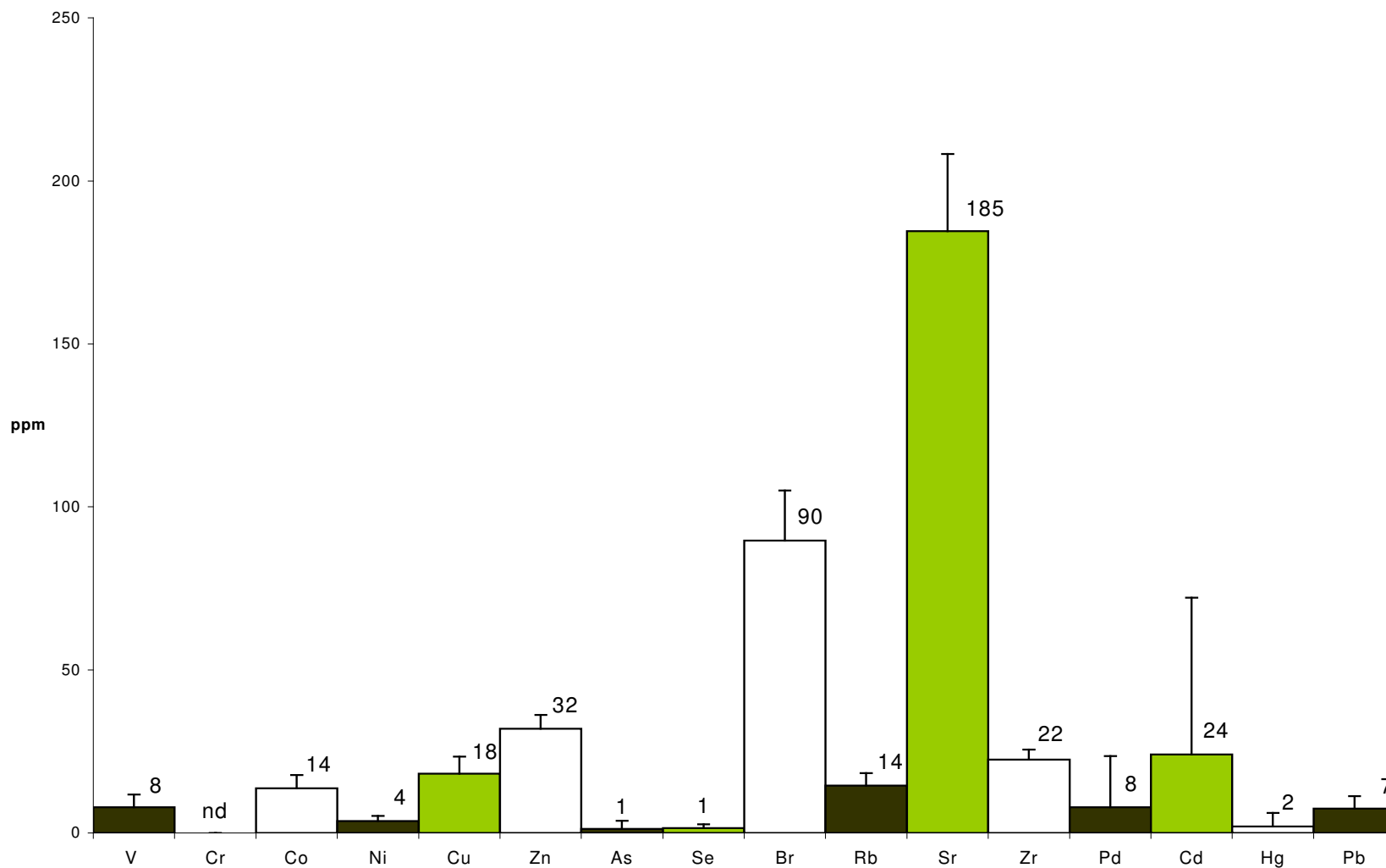
	RAÍCES		TALLOS		HOJAS	
	ppm	σ	ppm	σ	ppm	σ
V	96	35.88	14	6.22	8	3.93
Cr	nd	-	2	1.83	nd	-
Co	42	15.15	17	3.09	14	4.08
Ni	13	7.32	6	3.11	4	1.47
Cu	48	2.70	29	7.71	18	5.23
Zn	121	4.54	55	7.29	32	4.16
As	29	6.71	1	1.34	1	2.52
Se	nd	-	nd	-	1	1.16
Br	nd	-	108	18.70	90	15.36
Rb	269	41.69	29	11.05	14	3.83
Sr	224	18.57	149	24.05	185	23.69
Zr	150	60.37	23	17.31	22	3.13
Pd	22	31.59	5	8.54	8	15.70
Cd	nd	-	7	14.84	24	48.10
Hg	nd	-	1	1.02	2	4.10
Pb	10	0	7	2.15	7	3.95



Gráfica 19. Concentración promedio de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* del sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad



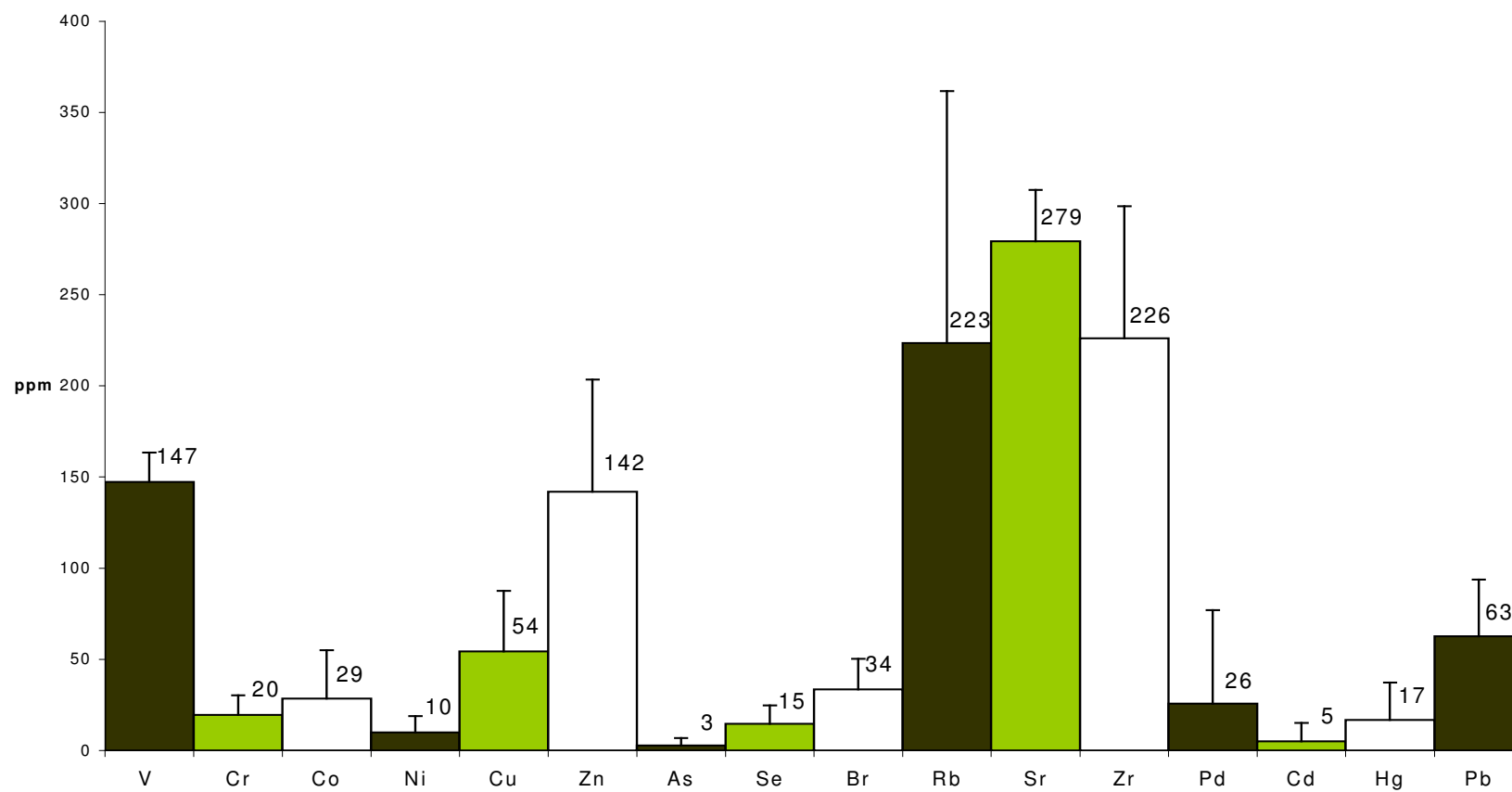
Gráfica 20. Concentración promedio de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* del sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad



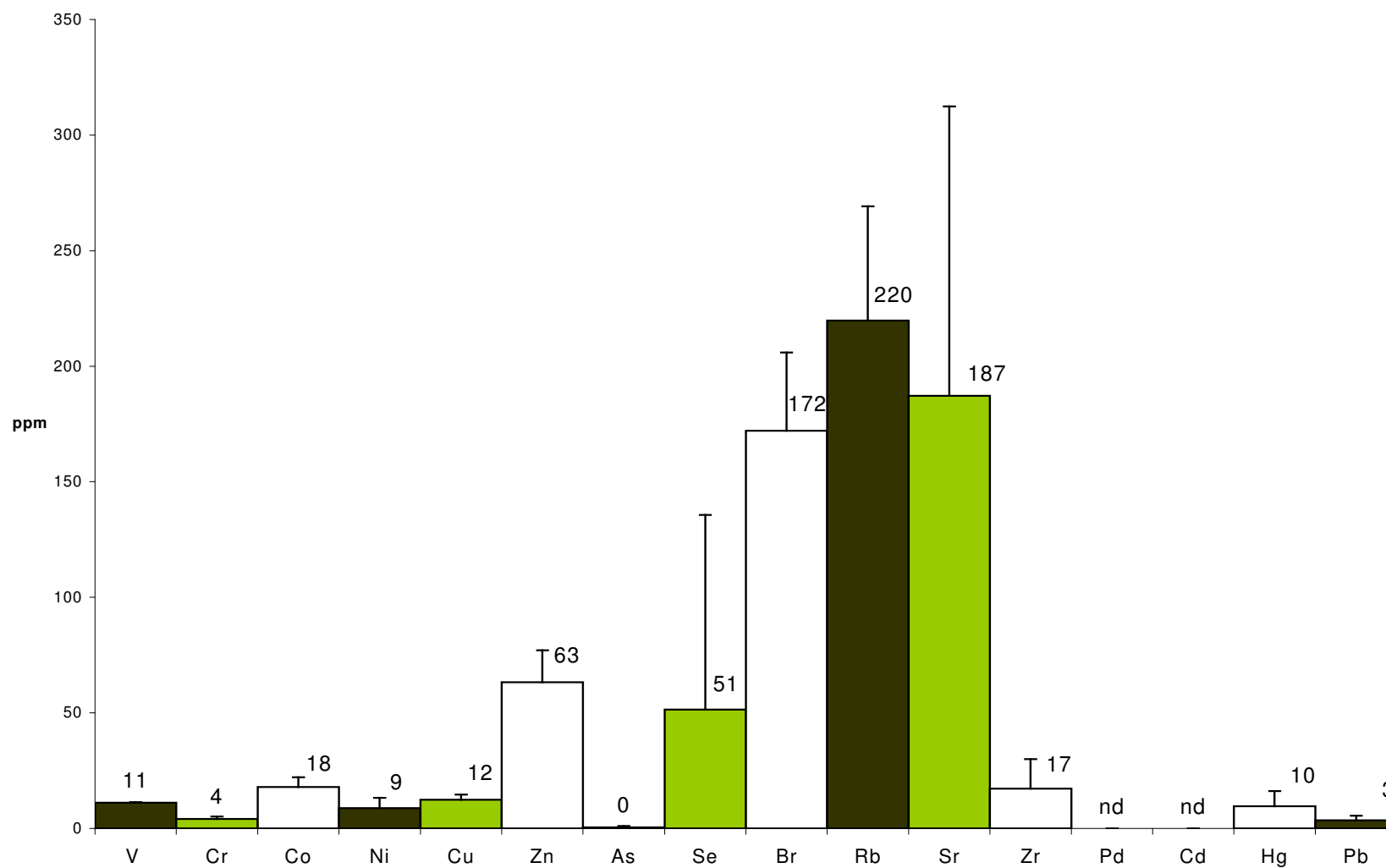
Gráfica 21. Concentración promedio de metales en hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad

Tabla 17. Concentración en ppm de metales en raíces, tallos y hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 5 "Veracruz", Chachalacas, Veracruz.

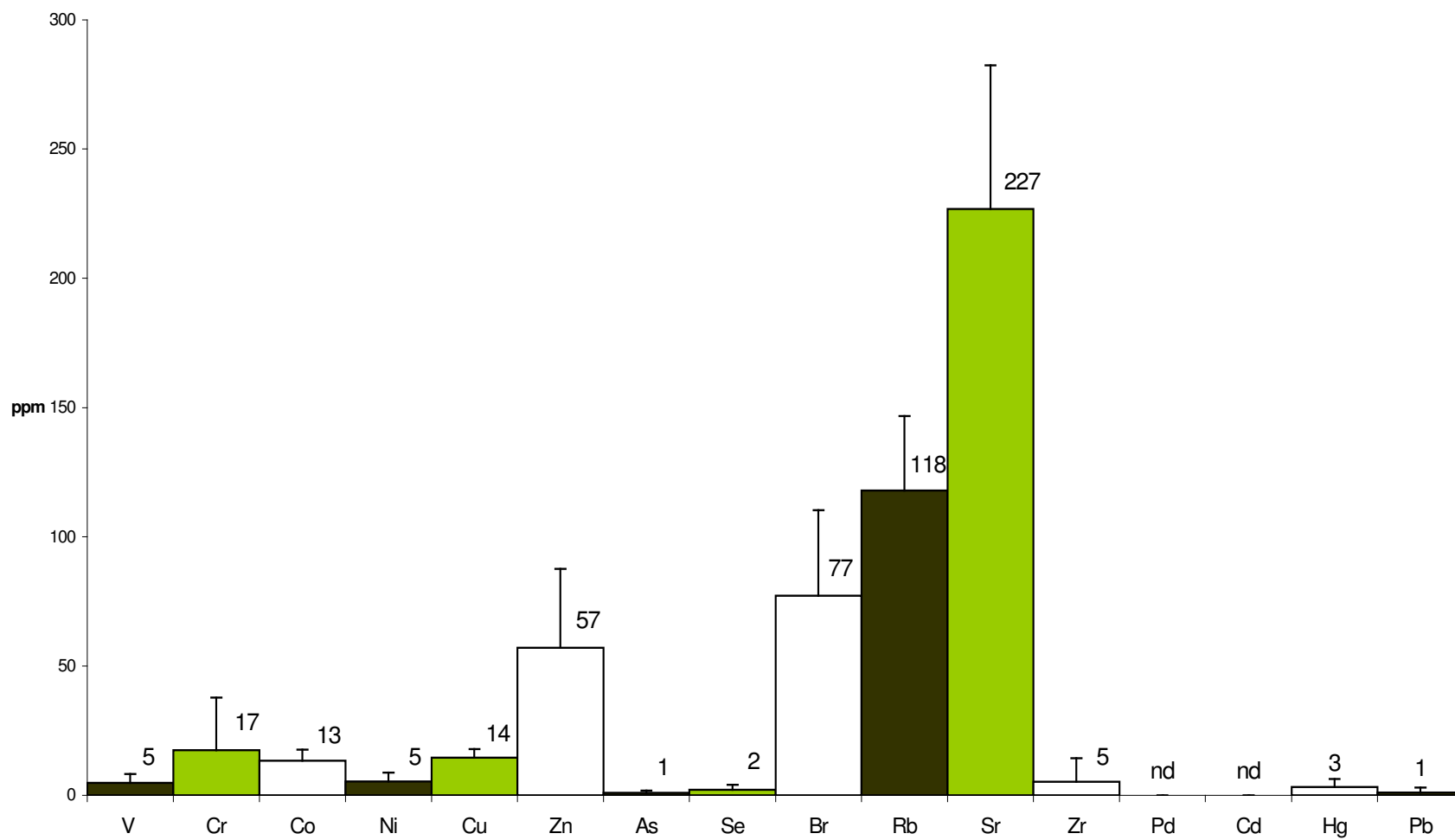
	RAÍCES		TALLOS		HOJAS	
	ppm	σ	ppm	σ	ppm	σ
V	147	16.16	11	0.18	5	3.52
Cr	20	10.61	4	1.09	17	20.26
Co	29	26.57	18	4.27	13	4.41
Ni	10	9.04	9	4.37	5	3.32
Cu	54	33.15	12	2.23	14	3.40
Zn	142	61.69	63	13.92	57	30.56
As	3	4.02	0	0.64	1	0.82
Se	15	10.21	51	84.17	2	2.01
Br	34	16.69	172	33.87	77	33.05
Rb	223	138.19	220	49.41	118	28.77
Sr	279	28.20	187	125.27	227	55.60
Zr	226	72.40	17	12.77	5	9.10
Pd	26	51.30	nd	-	nd	-
Cd	5	10.10	nd	-	nd	-
Hg	17	20.52	10	6.49	3	3.11
Pb	63	31.03	3	2.05	1	1.91



Gráfica 22. Concentración promedio de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* del sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz



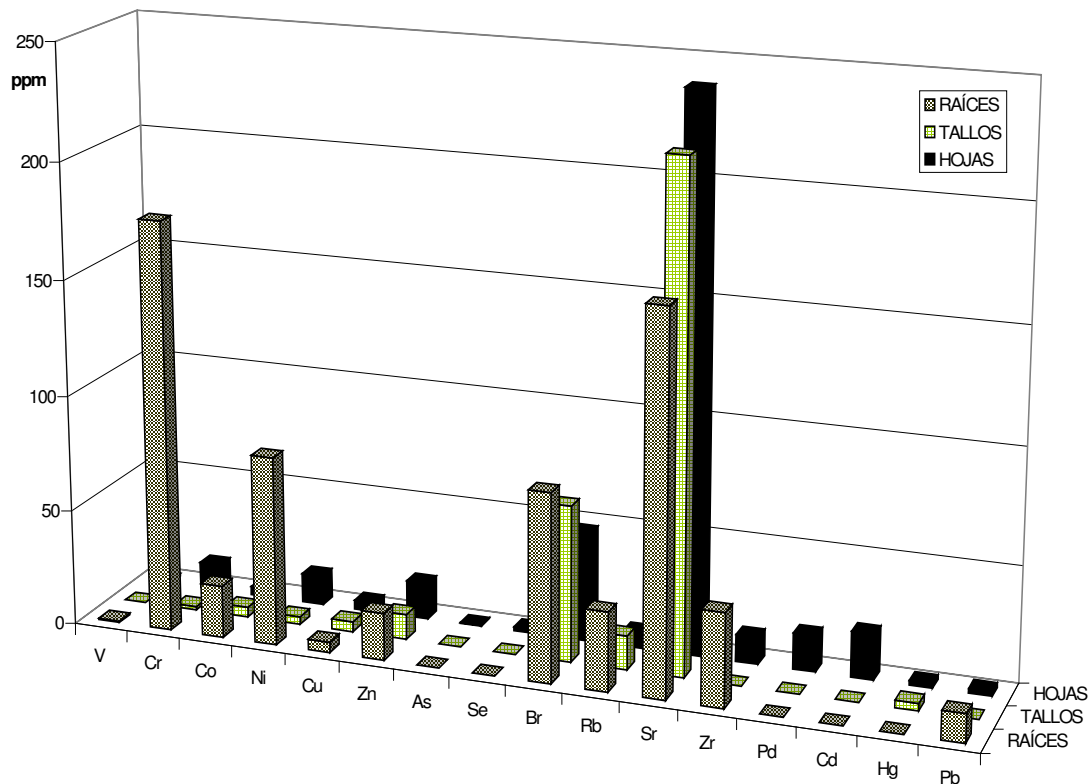
Gráfica 23. Concentración promedio de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* del sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz



Gráfica 24. Concentración promedio de metales en hojas de *Eichhornia crassipes* del sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz

DISCUSIÓN

El muestreo del sitio 1, nombrado "Casa", se efectuó en la orilla poniente de la Laguna el Tule. El principal rasgo del lugar es que tiene características fangosas por un lado, por las condiciones propias de la orilla de la laguna. También se observa el evidente uso que se le da a esta parte al ser el "traspatio de la casa". El lugar además de ser el "basurero" de la casa, tiene un olor desagradable que nos da indicios de que en este lugar fluyen desagües domésticos. Las raíces del lirio recolectado evidentemente contenían una gran cantidad de material fangoso.



Gráfica 25. Comparativo de la concentración de metales en *Eichhornia crassipes* del sitio 1 "Casa" Laguna El Tule

Haciendo una comparación de los niveles de metales determinados en raíces del sitio 1, tenemos que las concentraciones determinadas presentan el siguiente orden decreciente:

Cr > Sr > Ni > Br > Zr > Rb > Co > Zn > Pb > Cu > V

Los metales que no se detectaron en raíces fueron: As, Se, Pd, Cd, Hg

En tallos del sitio 1, el orden decreciente del valor de las concentraciones que se determinaron fue el siguiente:

Sr > Br > Rb > Zn > Cu > Co > Ni > Hg > Cr

Los metales que no se detectaron en tallos fueron: V, As, Se, Zr, Pd, Cd, Pb

Para las hojas del sitio 1, el orden decreciente de las concentraciones determinadas fue:

Sr > Br > Cd > Zn > Pd > Ni > Zr > Cr > Rb > Cu > Co > Pb > Hg > Se > V

En hojas no se encontró: As

En general en el sitio 1 las mayores concentraciones se determinaron en raíces, exceptuando el Sr, el Pd y el Cd que las mayores concentraciones se determinaron en hojas, como se puede apreciar en la Gráfica 25. Como era de esperarse, el orden en concentración es el siguiente: Raíces > Hojas > Tallos

En este sitio las raíces del lirio se localizaron sumergidas. Esto provoca que tengan un mayor contacto con material sedimentario. Se podría haber dejado algo de sedimentos en las raíces por alguna falla en la técnica de limpieza, lo que explicaría las altas concentraciones de cromo (177 ppm en raíces). En la revisión

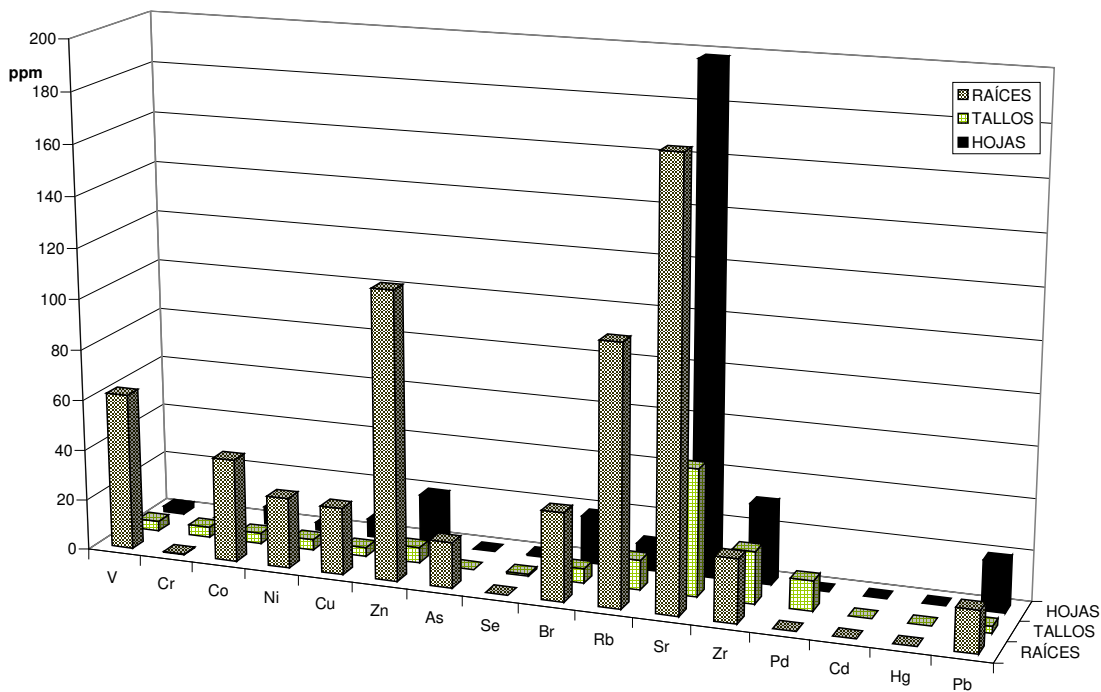
histórica de las concentraciones de cromo en sedimentos, el mayor valor que se recabó en este trabajo fue de 140.7 en la Laguna Ostión en el año 1986. Con este resultado de cromo se sugiere la existencia de descargas de alguna industria en la cuenca hidrográfica a la que pertenece la Laguna El Tule, principalmente de alguna relacionada con la tenería o textil que descargan sus desechos en forma de cromatos. Además el cromo tiende a acumularse en los sedimentos, lo que contribuye de manera significativa al incremento de su concentración (Vilanueva – Páez-Osuna, 1996 b). La posibilidad de que exista alguna descarga industrial se refuerza al revisar las concentraciones de Ni (81 ppm), Zn (20 ppm) y Cu (5 ppm) que son metales que acompañan al Cr en las descargas de desecho de la industria de pieles y teñido (Klein, 1974).

También para tallos y hojas aunque en menor concentración se determinó la presencia de Cr, Ni, Zn y Cu.

La concentración determinada de Pb (17 ppm) está por debajo de los reportados en la literatura para sedimentos en años recientes; sin embargo, su presencia no puede pasar desapercibida ya que si esa parte de la laguna es utilizada para desechar objetos de uso humano y un efecto directo se estaría presenciando en las raíces del lirio. Las fuentes más comunes de Pb en artículos de uso humano son las baterías, los productos metálicos de bronce o latón, y el recubrimiento de cables y tuberías (Vilanueva – Páez-Osuna, 1996 b).

Otro dato que pone en primer plano el efecto que tiene el desechar artículos de uso humano en algún punto de la cuenca hidrológica a la que pertenece esta laguna y que por escurrimiento o arrastre se presenten concentraciones importantes de metales en la zona es el cadmio. La concentración de Cd determinada en hojas fue de 20 ppm siendo la posible fuente objetos de plástico, ya que el uso del cadmio como estabilizador térmico en plásticos para retardar la degradación a consecuencia de la alta temperatura es común (Vilanueva – Páez-Osuna, 1996 b), también puede deberse al desecho de pilas y baterías.

En el sitio 2, el lirio se recolectó debajo del Puente del Río Seco, también conocido por Río Jaluco. Este río es uno de los aportes que tiene la Laguna El Tule, el cual conduce las descargas del Municipio de Cihuatlán. En este lugar se recolectó de un lado del puente el lirio del sitio 2, al cual nombramos "Jaluco 1" y del otro extremo del puente se recolectó el lirio para el sitio 3, al cual se le nombró "Jaluco 2". Cabe mencionar que el lirio de este último tenía florescencias (moradas); sin embargo, sólo se pudieron analizar para este sitio 3 raíces y tallos, ya que las hojas en el transporte al laboratorio entraron en descomposición y no fue posible analizarlas.



Gráfica 26. Comparativo de la concentración de metales en *Eichhornia crassipes* del sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule

En la Gráfica 26 para el sitio 2 podemos observar mayor concentración de metales en raíces que en tallos o que en las hojas, excepto el Sr y el Pb. De acuerdo con el nivel de concentración determinado podemos observar que el orden que guardan las distintas partes del lirio analizadas para el sitio 2 es el siguiente: Raíces > Hojas > Tallos.

Haciendo una comparación de los niveles de metales determinados en raíces del sitio 2, tenemos que las concentraciones presentan el siguiente orden decreciente:

$Sr > Zn > Rb > V > Co > Br > Ni > Cu > Zr > As > Pb$

Los metales que no se encontraron en raíces fueron: Se, Pd, Cd, Hg, Cr

En tallos del sitio 2, el orden decreciente de la concentración fue el siguiente:

$Sr > Br > Rb > Zn > Zr > Cu > Pb > Pd > Co > Ni > Cr > V > Se$

Los metales que no se encontraron en tallos fueron: As, Cd, Hg

Para las hojas del sitio 2, el orden decreciente de la concentración fue el siguiente:

$Sr > Zr > Zn > Pb > Br > Rb > Cu > Co > Ni > V > Se$

Los metales que no se encontraron en hojas fueron: Cr, As, Pd, Cd, Hg

El sitio 2 y el sitio 3 se encuentran donde la Laguna El Tule recibe del Río Jaluco las descargas del Municipio de Cihuatlán. Esta es una de las razones por las que fue de interés tener lirio de este sitio, ya que se considera que las aguas de desecho doméstico constituyen la mayor influencia sobre la concentración de metales en ríos y lagos (Forstner – Wittmann, 1979 citado por Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b). En el caso el Municipio de Cihuatlán sabemos que sus descargas consisten en aguas no tratadas.

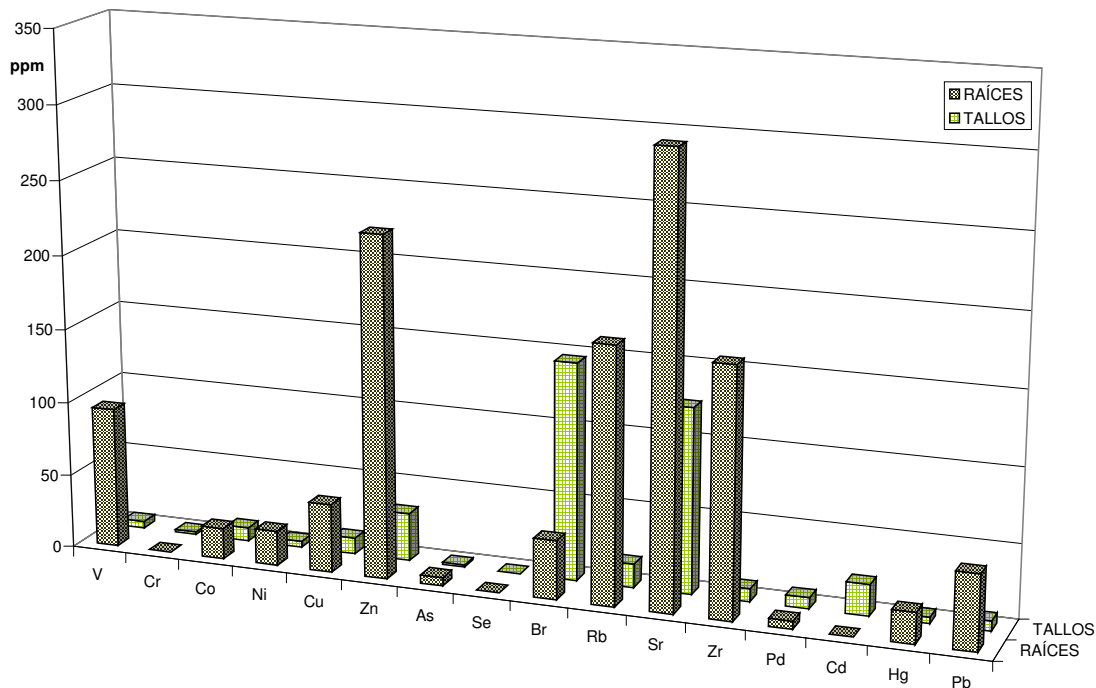
La concentración determinada por el PIXE para este sitio 2 nos muestra que hay una importante concentración de Sr tanto en raíces (173 ppm), como en tallos

(177ppm) y en hojas (198 ppm). También hay una importante concentración de Zn en raíces (113 ppm), Co (41 ppm) y en tallos la presencia de Cr (2 ppm). Estos datos permiten considerar que la posible fuente de estos metales se puede deber al empleo de detergentes con enzimas que contienen cantidades importantes de metales (Fe, Mn, Cr, Co, Zn, Sr y B) y en el caso de variados detergentes se ha detectado la presencia de arsénico (Forstner – Wittmann, 1979 citado por Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b). En las raíces de este sitio 2 se determinaron 18 ppm de As, por lo que podemos pensar que las concentraciones de los metales Sr, Zn, Co y Cr además del As determinadas en lirio del sitio “Jaluco 1” corresponden a la cantidad de detergentes de las descargas municipales de Cihuatlán.

Comúnmente los ríos son utilizados como depósitos de basura, en un interés del hombre por deshacerse de sus desechos. Entre los cuales muy a menudo nos encontramos con baterías que a través del tiempo se desgastan y hay importantes fugas de las sustancias químicas que la componen. Una de estas sustancias químicas es el plomo. Para el plomo también hay otras fuentes, como los productos metálicos de bronce o latón, y el recubrimiento de cables y tuberías que ya mencionamos anteriormente. Por todo esto podemos considerar a éstas como posibles fuentes de contaminación por Pb, ya que encontramos una concentración considerable en hojas (con 19 ppm), siguiéndole las raíces con (17 ppm) y en tallos (con 7 ppm).

Para el Cu se determinó una concentración de 26 ppm en raíces. Como referente podemos mencionar la concentración que se reporta para sedimentos de ríos: para en Río Papaloapan se reportaron 21.94 ppm (Rosales, et. al., 1986 a); para el Río Coatzacoalcos se reportaron 25.7 ppm (Páez-Osuna, et. al., 1986) y para el Río Tonalá se reportaron 22.30 ppm (Villanueva, 1987). Con base en estos valores podemos decir que la concentración en raíces está en el intervalo de los datos reportados para sedimentos, lo que nos permite pensar que ésta es una alta concentración. Posiblemente se tenga una fuerte relación con sulfuros y materia

orgánica (Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b), que es común en las descargas municipales.



Gráfica 27. Comparativo de la concentración de metales en *Eichhornia crassipes* del sitio 3 "Jaluco 2" Laguna El Tule

El lirio recolectado en el sitio 3 "Jaluco 2", que anteriormente comentamos que comparte la misma localización en el puente del Río Seco sólo que este sitio en el otro extremo, como lo muestra la Gráfica 27, presenta en general mayor concentración de metales en raíces que en hojas.

Haciendo una comparación de los niveles de metales en raíces del sitio 3, tenemos que presentan el siguiente orden decreciente:

$Sr > Zn > Rb > Zr > V > Pb > Cu > Br > Ni > Hg > Co > As > Pd$

En raíces no se encontraron los siguientes metales: Se, Cd, Cr

En tallos del sitio 3, el orden decreciente del valor de las concentraciones que se determinaron fue el siguiente:

Br > Sr > Zn > Cd > Rb > Cu > Co > Zr > Pd > Pb > V > Hg > Ni > Cr > As

El único metal que no se detectó fue Se.

Como lo analizamos para el sitio 2, la concentración para "Jaluco 2" parece indicar que las aguas municipales son un aporte de metales a la Laguna El Tule. Por un lado, se repite la detección de metales relacionados con detergentes: el Sr para el sitio 2 en raíces se encontró en 173 ppm y para el sitio 3 en raíces se registraron 300 ppm. El Zn el sitio 2 en raíces se encontró en 113 ppm y para el sitio 3 se registraron 230 ppm. El Co para el sitio 2 en raíces fue de 41 ppm y para el sitio 3 se registraron 21 ppm. También el As que se relaciona con la presencia de detergentes, en raíces del sitio 2 se encontró una concentración de 18 ppm y en el sitio 3 se determinaron 6 ppm.

En el caso de Pb se refuerza que las descargas municipales son una fuente importante de este metal, ya que en el sitio 3 se determinó una concentración en raíces de 51 ppm y 7 ppm en tallos. Comparándolo con el sitio 2 encontramos que se determinó la misma concentración para tallos y para raíces fue de 17 ppm.

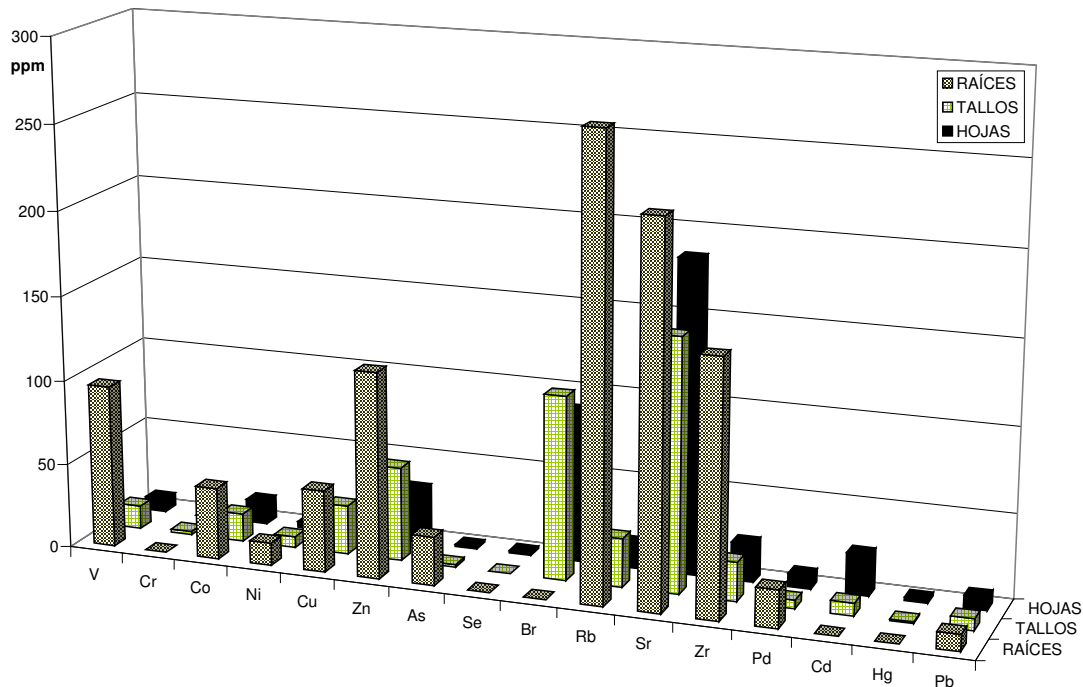
La asociación del Cu con la presencia de materia orgánica se puede realizar también en el sitio 3, ya que se encontró casi el doble de concentración que en el sitio 2, 46 ppm de Cu en raíces del lirio recolectado y 11 ppm en tallos.

Ahora bien, tanto en raíces, tallos y hojas (solo para el sitio 2), la presencia de Ni y V parece ser una constante. La mayor concentración se encontró en raíces. Para el sitio 2 se determinaron 62 ppm de V y 28 ppm de Ni. En el sitio 3 se registraron en raíces 95 ppm de V y de Ni 23 ppm. Si bien los niveles de estos metales se relacionan directamente con las actividades petroleras (vanadio como parte de

la composición del petróleo crudo y el níquel como agente catalizador en el proceso de refinación del petróleo) (Villanueva – Páez-Osuna, 1996), aquí en esta zona no se tiene actividad petrolera. Para los metales no siempre se requiere que exista una fuente puntual para tener un aporte a la zona. También es importante considerar que existen emisiones atmosféricas que terminan precipitándose y posteriormente movilizándose a través de los ríos y aguas de escurrimiento (Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b).

Es importante señalar que la concentración de mercurio determinada tanto en hojas (21 ppm) como en los tallos (4 ppm) es muy elevada. Las fuentes pueden ser variadas: baterías, piezas de aparatos eléctricos, transistores, el proceso de producción de cloro y sosa cáustica o bien una descarga de una planta que manufactura plásticos, como ocurrió en la Bahía de Minamata, Japón (Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b). Como no hay localizadas descargas industriales, el mercurio presente se puede atribuir a los desechos que son arrojados al cauce del río por el hombre.

En el sitio 4 se recolectó lirio debajo del puente del Río Maravasco. Este también tiene descargas del Municipio de Cihuatlán a la Albufera de Barra Navidad. Aquí también convergen de la cuenca hidrológica que nace en Autlán de Navarro, en el mismo estado de Jalisco. Al comparar las concentraciones determinadas para el lirio, ver Gráfica 28, encontramos que las raíces presentan mayores concentraciones, seguido de las hojas y tallos.



Gráfica 28. Comparativo de la concentración de metales en *Eichhornia crassipes* del sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad

Haciendo una comparación de los niveles de metales determinados en raíces del sitio 4 tenemos que la concentración determinada presenta el siguiente orden decreciente:

$Rb > Sr > Zr > Zn > V > Cu > Co > As > Pd > Ni > Pb$

En raíces no se encontraron los siguientes metales: Cr, Se, Br, Cd, Hg

En tallos del sitio 4 el orden decreciente del valor de las concentraciones fue el siguiente:

$Sr > Br > Zn > Cu > Rb > Zr > Co > V > Cd > Pb > Ni > Pd > Cr > As > Hg$

El único metal de los analizados que no se encontró fue Se.

Para las hojas del sitio 4, el orden decreciente de las concentraciones fue:

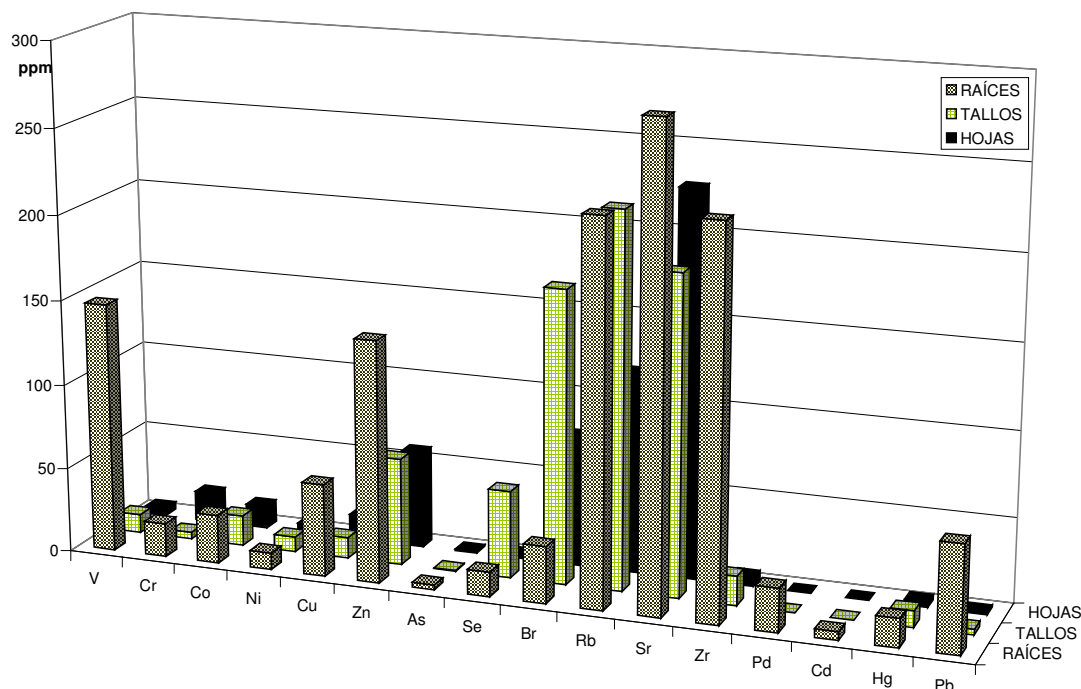
Sr > Br > Zn > Cd > Zr > Cu > Rb > Co > Pd > V > Pb > Ni > Hg > Se > As

En hojas no se encontró Cr.

Podemos observar que, al igual que en los sitios 2 y 3, la concentración de metales asociadas a los detergentes en las descargas municipales están presentes tanto en hojas como en tallos (Cr con 2 ppm) y mayormente en raíces (Sr con 224 ppm, Zn con 121 ppm, Co con 42 ppm, y también As con 29 ppm). También hay una presencia importante de V, con 96 ppm para el sitio 4 en raíces, valor más alto de los tres sitios anteriores. Esto no ocurre con el níquel, ya que se encontraron 13 ppm.

También en menor concentración que el de las raíces del sitio 3, se determinó para este sitio 4 presencia de mercurio en tallos, con 1 ppm y 2 ppm en hojas de lirio. En este sitio también se encontró Pb tanto en raíces (10 ppm), tallos (7 ppm) y en hojas (7 ppm), por lo que es importante señalar que la presencia de este metal en la zona de Melaque es constante.

El sitio 5 en Chachalacas, Veracruz se tomó como un punto referente, ya que en el Golfo de México se han realizado más estudios del impacto ambiental que han provocado en la región las actividades socioeconómicas relacionadas directamente con las zonas costeras y marinas. Es importante recordar que la mayor parte de las actividades relacionadas con la industria petrolera en nuestro país se realizan en los litorales, las zonas costeras y marinas del Golfo de México. También en esta región existe un peligro potencial por la disposición de desechos de la industria metalúrgica (Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b). Por estas razones este sitio será un referente para compararlo con Melaque, Jalisco en el Pacífico Mexicano.



Gráfica 29. Comparativo de la concentración de metales en *Eichhornia crassipes* del sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz

De forma general, excepto el Sr en hojas, las concentraciones de los metales determinados para el sitio 5 (ver Gráfica 29) son mayores en las raíces, le siguen las hojas y finalmente los tallos.

Haciendo una comparación de los niveles de metales determinados en raíces del sitio 5 tenemos que las concentraciones determinadas presentan el siguiente orden decreciente:

$Sr > Zr > Rb > V > Zn > Pb > Cu > Br > Co > Pd > Cr > Hg > Se > Ni > Cd > As$

En tallos del sitio 5, el orden decreciente del valor de las concentraciones que se determinaron fue el siguiente:

Rb > Sr > Br > Zn > Se > Co > Zr > Cu > V > Hg > Ni > Cr > Pb

En los tallos los metales que no se detectaron fueron: As, Cd, Pd

Para las hojas del sitio 5, el orden decreciente de las concentraciones determinadas fue:

Sr > Rb > Br > Zn > Cr > Cu > Co > Ni > Zr > V > Hg > Se > Pb > As

Los metales que no se detectaron en hojas fueron Cr y Pd.

La concentración de vanadio en raíces de lirio en el sitio 5 es mayor que en cualquier sitio antes mencionado (147 ppm). Además, junto con la concentración de níquel en raíces (10 ppm) de este sitio en Veracruz, denota que esta es una región en la que existe una influencia directa de las actividades petroleras, ya que ambos metales están presentes en el proceso de refinación y extracción de crudo.

La presencia de Cr, es mayor que en cualquier otro sitio de los analizados, a excepción del sitio 1. En raíces se determinaron 20 ppm, en hojas 17 ppm y en tallos 4 ppm. Como se mencionó antes hay efluentes industriales que contribuyen al enriquecimiento de los ambientes acuáticos de Cr. Estos efluentes de la industria de pieles y teñido tiene descargas de cromo acompañado de cobre, níquel, zinc y cadmio, que en este sitio también se detectaron tanto en hojas, como en tallos y en raíces, siendo en estas últimas donde se encontraron mayores cantidades (de Cu 54 ppm, de Ni 10 ppm, de Zn 142 ppm, de Cd 5 ppm).

Además nuevamente se tienen concentraciones de los metales asociados a la presencia de detergentes, de los cuales falta por mencionar que del Sr en raíces se encontraron 279 ppm, concentración similar a la del sitio 3 "Jaluco 2", y el As se encontró en la cantidad de 3 ppm en raíces.

En esta región es importante señalar que el Zn, además de estar asociado a la presencia de detergentes, es parte de los desechos de aguas de la industria de procesamiento de pescado que están enriquecidas con zinc (Villanueva – Páez-Osuna, 1996 b). Esta industria en el Golfo de México está muy activa.

El nivel de Pb en raíces (63 ppm) es el valor más alto de todas las medidas en este trabajo. La concentración de mercurio en raíces (17 ppm) también es la más alta de las encontradas en este estudio, a excepción de la encontrada en el sitio 3 "Jaluco 2".

En la Gráfica 30 podemos ver el comparativo de los niveles de metales en raíces para los sitios de muestreo. Así podemos observar la relación que guardan las concentraciones entre los distintos sitios:

V: Veracruz > Puente > Jaluco 1 > Jaluco 2 > Casa

Cr: Veracruz > Casa

Co: Puente > Jaluco 1 > Veracruz > Casa > Jaluco 2

Ni : Casa > Jaluco 1 > Jaluco 2 > Puente > Veracruz

Cu: Veracruz > Puente > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Casa

Zn : Jaluco 2 > Veracruz > Puente > Jaluco 1 > Casa

As: Puente > Jaluco 1 > Jaluco 2 > Veracruz

Sr: Jaluco 2 > Veracruz > Puente > Jaluco 1 > Casa

Cd: Veracruz

Hg: Jaluco 2 > Veracruz

Pb: Veracruz > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Casa > Puente

En general tenemos que en raíces de los sitios muestreados por los niveles detectados ocupan en la siguiente lista:

Raíces: Veracruz > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Puente > Casa

Por lo que en Chachalacas se presenta mayor concentración de metales en raíces de lirio y la menor concentración en el sitio 1 "Casa" en la Laguna El Tule.

En la Gráfica 31 podemos ver el comparativo de los niveles de metales en tallos para los sitios de muestreo, así podemos observar la relación que guardan las concentraciones entre los distintos sitios:

V: Puente > Veracruz > Jaluco 2 > Jaluco 1

Cr: Veracruz > Jaluco 2 = Puente = Jaluco 1 > Casa

Co: Veracruz > Puente > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Casa

Ni : Veracruz > Puente > Jaluco 1 > Jaluco 2 > Casa

Cu: Puente > Veracruz > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Casa

Zn : Veracruz > Puente > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Casa

As: Puente = Jaluco 2

Sr: Casa > Veracruz > Jaluco 1 > Puente > Jaluco 2

Cd: Jaluco 2 > Puente

Hg: Veracruz > Jaluco 2 > Casa > Puente

Pb: Jaluco 1 = Jaluco 2 = Puente > Veracruz

En general tenemos que en tallos los sitios ocupan la siguiente lista:

Tallos: Veracruz > Puente > Jaluco 2 > Jaluco 1 > Casa

Por lo que en Chachalacas se presenta mayor concentración de metales en tallos de lirio y menor concentración en el sitio 1 "Casa" en la Laguna El Tule.

En la Gráfica 32 podemos ver el comparativo de los niveles de metales en hojas para los sitios de muestreo. Así podemos observar la relación que guardan las concentraciones entre los distintos sitios:

V: Puente > Veracruz > Jaluco 1 > Casa

Cr: Veracruz > Casa

Co: Puente > Veracruz > Jaluco 1 > Casa
Ni : Casa > Veracruz > Puente > Jaluco 1
Cu: Puente > Veracruz > Jaluco 1 > Casa
Zn : Veracruz > Puente > Jaluco 1 > Casa
As: Veracruz = Puente > Casa
Sr: Casa > Veracruz > Jaluco 1 > Puente
Cd: Puente > Casa
Hg: Veracruz > Puente = Casa
Pb: Jaluco 1 > Puente > Casa > Veracruz

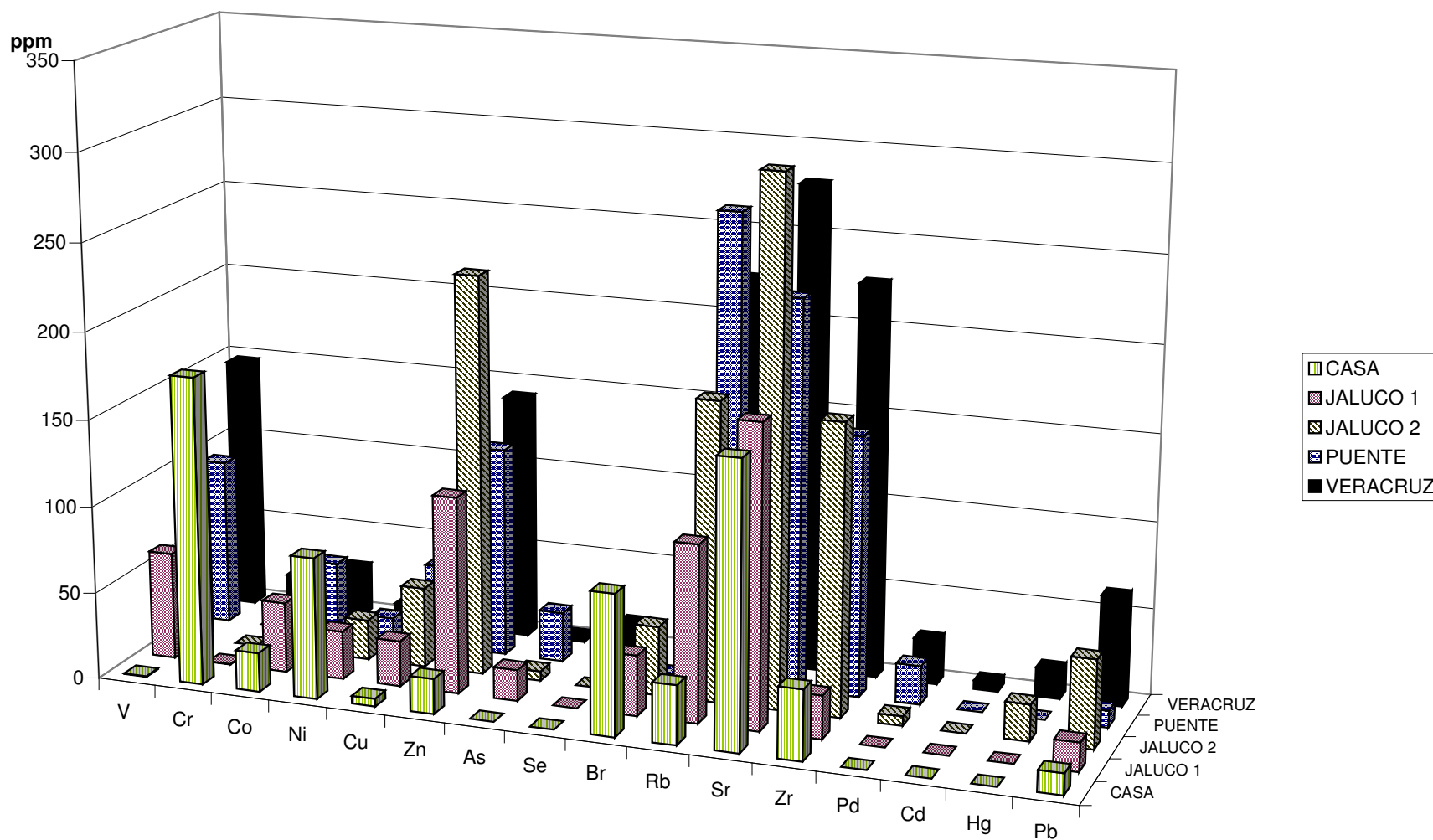
En general tenemos que en los tallos de los sitios muestreados la cantidad de metales se acomoda como sigue:

Raíces: Veracruz > Puente > Jaluco 1 > Casa

Por lo que en Chachalacas se presenta mayor concentración de metales en hojas de lirio y menor concentración en el sitio 1 "Casa" en la Laguna El Tule.

Tabla 18. Concentración promedio en ppm de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* de los sitios muestreados: sitio 1 "Casa" Laguna El Tule, sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule, sitio 3 "Jaluco 2" Laguna El Tule, sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad, sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz

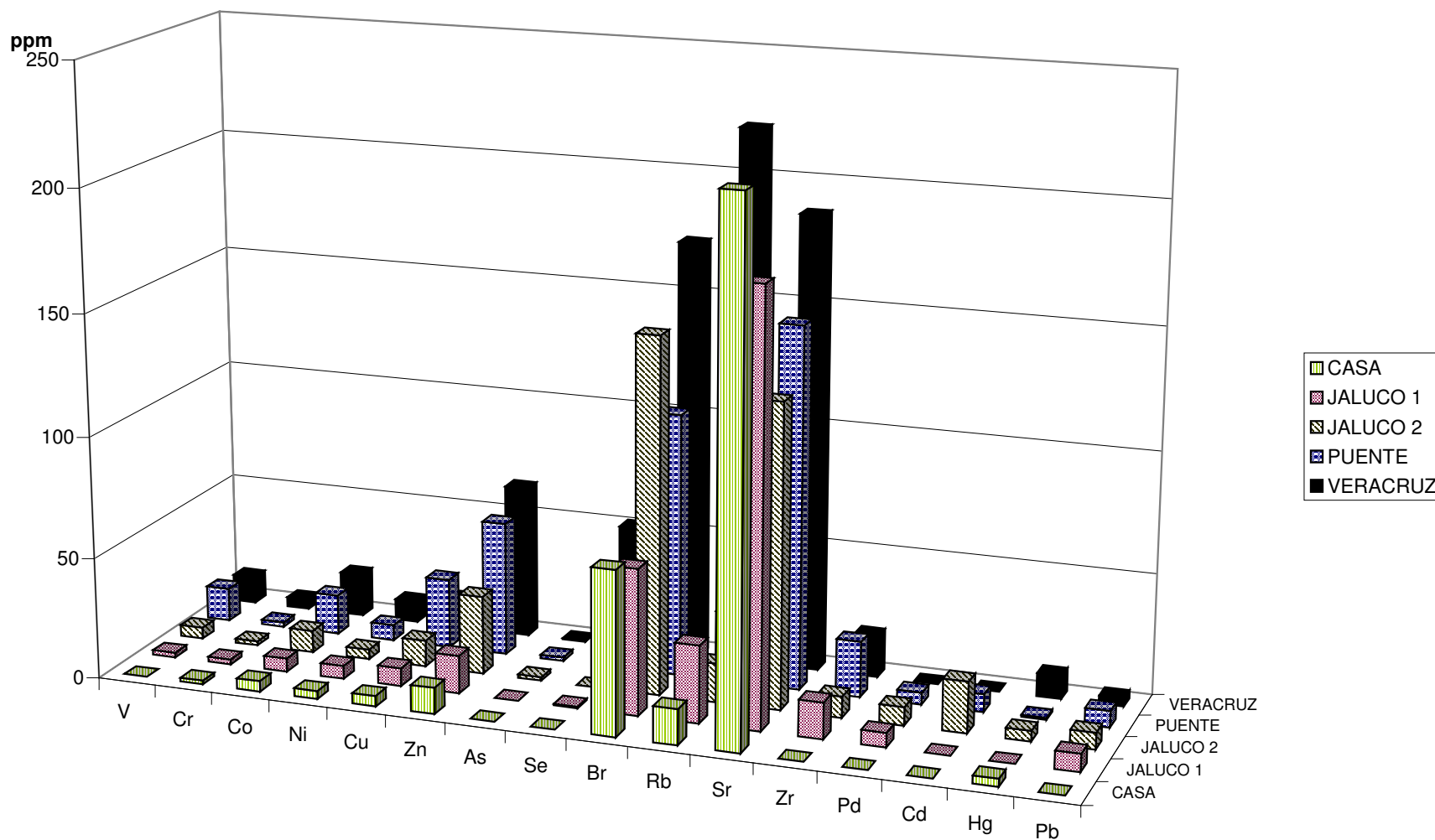
	SITIO 1 "CASA"		SITIO 2 "JALUCO 1"		SITIO 3 "JALUCO 2"		SITIO 4 "PUENTE"		SITIO 5 "VERACRUZ"	
	ppm	s	ppm	s	ppm	s	ppm	s	ppm	s
V	1	0	62	0	95	12,22	96	35,88	147	16,16
Cr	177	74,01	nd	0,95	nd	-	nd	-	20	10,61
Co	23	2,45	41	19,05	21	14,76	42	15,15	29	26,57
Ni	81	49,67	28	16,74	23	2,67	13	7,32	10	9,04
Cu	5	3,41	26	16,11	46	12,55	48	2,70	54	33,15
Zn	20	11,25	113	64,26	230	37,08	121	4,54	142	61,69
As	nd	-	18	10,00	6	2,95	29	6,71	3	4,02
Se	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	15	10,21
Br	81	52,20	35	21,18	40	23,95	nd	-	34	16,69
Rb	34	18,59	102	64,99	172	2,62	269	41,69	223	138,19
Sr	163	63,32	173	114,32	300	11,93	224	18,57	279	28,20
Zr	40	7,91	25	0	167	24,07	150	60,37	226	72,40
Pd	nd	-	nd	-	5	7,59	22	31,59	26	51,30
Cd	nd	-	nd	-	nd	-	nd	-	5	10,10
Hg	nd	-	nd	-	21	13,12	nd	-	17	20,52
Pb	12	2,86	17	11,67	51	43,55	10	0	63	31,03



Gráfica 30. Comparativo de la concentración de metales en raíces de *Eichhornia crassipes* de los sitios muestreados.

Tabla 19. Concentración promedio en ppm de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* de los sitios muestreados: sitio 1 "Casa" Laguna El Tule, sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule, sitio 3 "Jaluco 2" Laguna El Tule, sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad, sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz

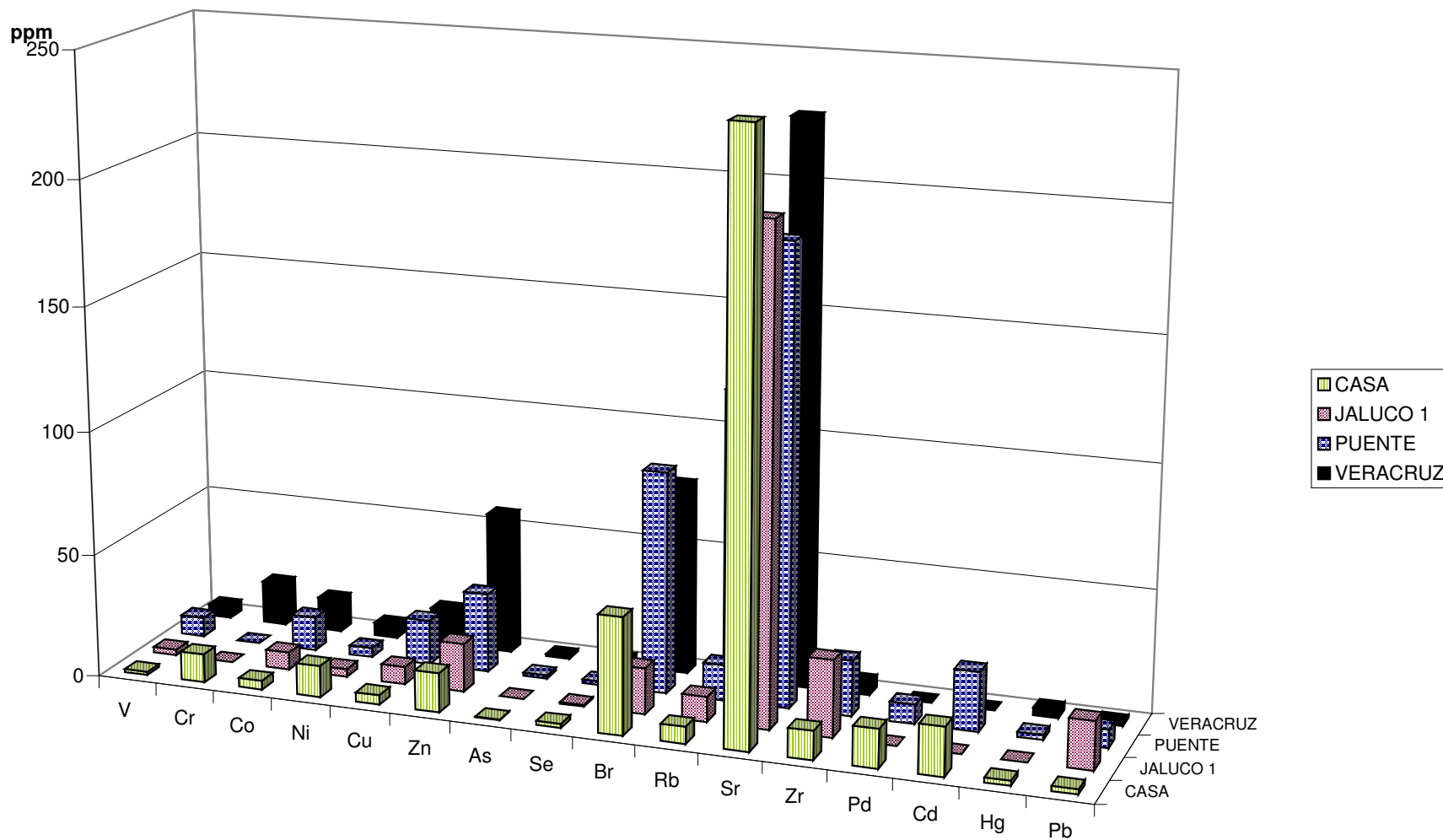
	SITIO 1		SITIO 2		SITIO 3		SITIO 4		SITIO 5	
	ppm	s	ppm	s	ppm	s	ppm	s	ppm	s
V	nd	-	2	3,90	5	7,80	14	6,22	11	0,18
Cr	1	2,08	2	4,14	2	3,49	2	1,83	4	1,09
Co	4	1,73	6	4,18	9	4,43	17	3,09	18	4,27
Ni	3	0,03	5	4,21	4	1,79	6	3,11	9	4,37
Cu	4	1,16	7	3,48	11	2,73	29	7,71	12	2,23
Zn	11	1,24	16	6,17	32	4,85	55	7,29	63	13,92
As	nd	-	nd	-	1	2,69	1	1,34	0	0,64
Se	nd	-	1	0,78	nd	-	nd	-	51	84,17
Br	67	8,36	60	5,65	147	21,62	108	18,70	172	33,87
Rb	15	-	32	11,74	16	5,80	29	11,05	220	49,41
Sr	217	17,87	177	49,79	125	24,57	149	24,05	187	125,27
Zr	nd	-	15	20,40	9	6,21	23	17,31	17	12,77
Pd	nd	-	6	11,75	8	17,08	5	8,54	nd	-
Cd	nd	-	nd	-	21	26,53	7	14,84	nd	-
Hg	3	4,57	nd	-	4	4,98	1	1,02	10	6,49
Pb	nd	-	7	2,59	7	3,54	7	2,15	3	2,05



Gráfica 31. Comparativo de la concentración de metales en tallos de *Eichhornia crassipes* de los sitios muestreados.

Tabla 20. Concentración promedio en ppm de metales en hojas de *Eichhornia crassipes* de los sitios muestreados: sitio 1 "Casa" Laguna El Tule, sitio 2 "Jaluco 1" Laguna El Tule, sitio 3 "Jaluco 2" Laguna El Tule, sitio 4 "Puente" Albufera, Barra Navidad, sitio 5 "Veracruz" Chachalacas, Veracruz

	SITIO 1		SITIO 2		SITIO 4		SITIO 5	
	ppm	s	ppm	s	ppm	s	ppm	s
V	1	2,45	2	0	8	3,93	5	3,52
Cr	12	6,99	nd	-	nd	-	17	20,26
Co	4	2,20	7	0,55	14	4,08	13	4,41
Ni	13	6,56	3	3,25	4	1,47	5	3,32
Cu	4	3,11	7	0,87	18	5,23	14	3,40
Zn	16	2,15	20	0,40	32	4,16	57	30,56
As	0	0,49	nd	-	1	2,52	1	0,82
Se	2	2,04	1	0,87	1	1,16	2	2,01
Br	47	5,04	19	7,60	90	15,36	77	33,05
Rb	7	4,88	10	5,46	14	3,83	118	28,77
Sr	238	49,72	198	44,35	185	23,69	227	55,60
Zr	12	9,39	31	0	22	3,13	5	9,10
Pd	16	16,46	nd	-	8	15,70	nd	-
Cd	20	39,35	nd	-	24	48,10	nd	-
Hg	2	3,90	nd	-	2	4,10	3	3,11
Pb	2	1,48	19	0	7	3,95	1	1,91



Gráfica 32. Comparativo de la concentración de metales en hojas de *Eichhornia crassipes* de los sitios muestreados.

En la Gráfica 33 se muestra un comparativo entre los niveles de metales pesados en raíces de lirio, de acuerdo con los datos promedio de la Laguna el Tule. Se comparan las tres zonas donde se localizan los cinco sitios de muestreo. Los valores se muestran en la tabla 21, de la cual se observa que de acuerdo a las concentraciones detectadas tenemos:

Cr : Laguna El Tule > Chachalacas > Barra Navidad

Cd: Chachalacas > Laguna El Tule > Barra Navidad

Hg: Laguna El Tule > Chachalacas

Pb: Chachalacas > Laguna El Tule > Barra Navidad

Barra Navidad presenta la menor concentración de metales en raíces, en comparación con los otros sitios.

En la Gráfica 34 se muestra un comparativo entre los niveles de metales pesados en tallos de lirio, de acuerdo con los datos promedio de la Laguna el Tule. Se comparan las tres zonas donde se localizan los cinco sitios de muestreo. Los valores se muestran en la tabla 22, de la cual se observa que, de acuerdo a las concentraciones detectadas, tenemos:

Cr: Chachalacas > Barra Navidad > Laguna El Tule

Cd: Laguna El Tule > Barra Navidad > Chachalacas

Hg: Chachalacas > Laguna El Tule > Barra Navidad

Pb: Laguna El Tule > Barra Navidad > Chachalacas

Contrario a lo que pasa en raíces, en este caso no se puede decir que uno de los sitios esté menos contaminado.

En la Gráfica 35 se muestra un comparativo entre los niveles de metales pesados en hojas de lirio, de acuerdo con los datos promedio de la Laguna el Tule (para este caso se promedió solo Casa y Jaluco 1, ya que como se había mencionado no se pudieron analizar las hojas del Jaluco 2 debido a su descomposición al

llegar al laboratorio). Se comparan las tres zonas donde se localizan los cinco sitios de muestreo, los valores se muestran en la tabla 23, de la cual se observa que de acuerdo a las concentraciones detectadas tenemos:

Cr: Chachalacas > Laguna El Tule > Barra Navidad

Cd: Barra Navidad > Laguna El Tule > Chachalacas

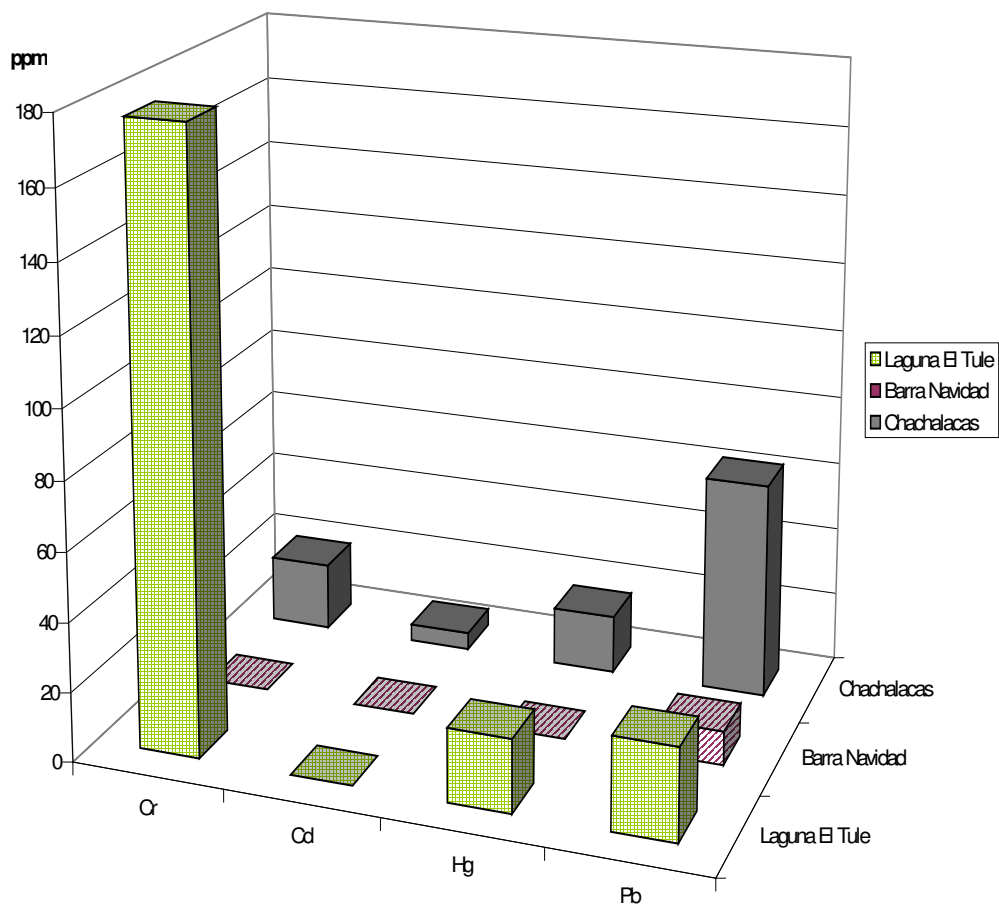
Hg: Chachalacas > Barra Navidad > Laguna El Tule

Pb: Laguna El Tule > Barra Navidad > Chachalacas

Lo mismo que en el caso de los tallos y contrario a lo que sucede con las raíces, el análisis de las hojas no permite identificar un lugar menos contaminado por metales que los demás.

Tabla 21. Comparativo de la concentración promedio de Cr, Cd, Hg y Pb en raíces de *Eichhornia crassipes* de los tres lugares de muestreo: Laguna El Tule, Albufera Barra Navidad y Chachalacas.

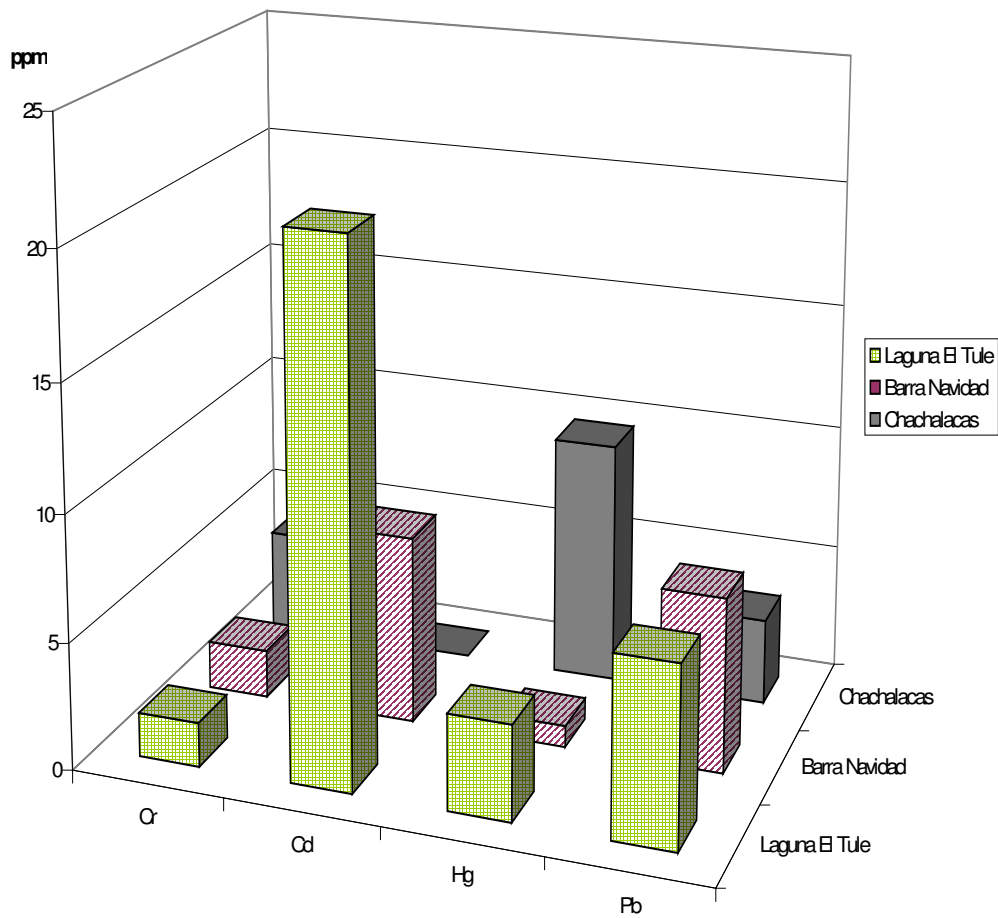
	Laguna El Tule	Barra Navidad	Chachalacas
Cr	177	0	19,6
Cd	0	0	5.1
Hg	21,0	0	16.9
Pb	26.4	9.7	62.7



Gráfica 33. Comparativo de la concentración promedio de Cr, Cd, Hg y Pb en raíces de *Eichhornia crassipes* de los tres lugares de muestreo

Tabla 22. Comparativo de la concentración promedio de Cr, Cd, Hg y Pb en tallos de *Eichhornia crassipes* de los tres lugares de muestreo: Laguna El Tule, Albufera Barra Navidad y Chachalacas.

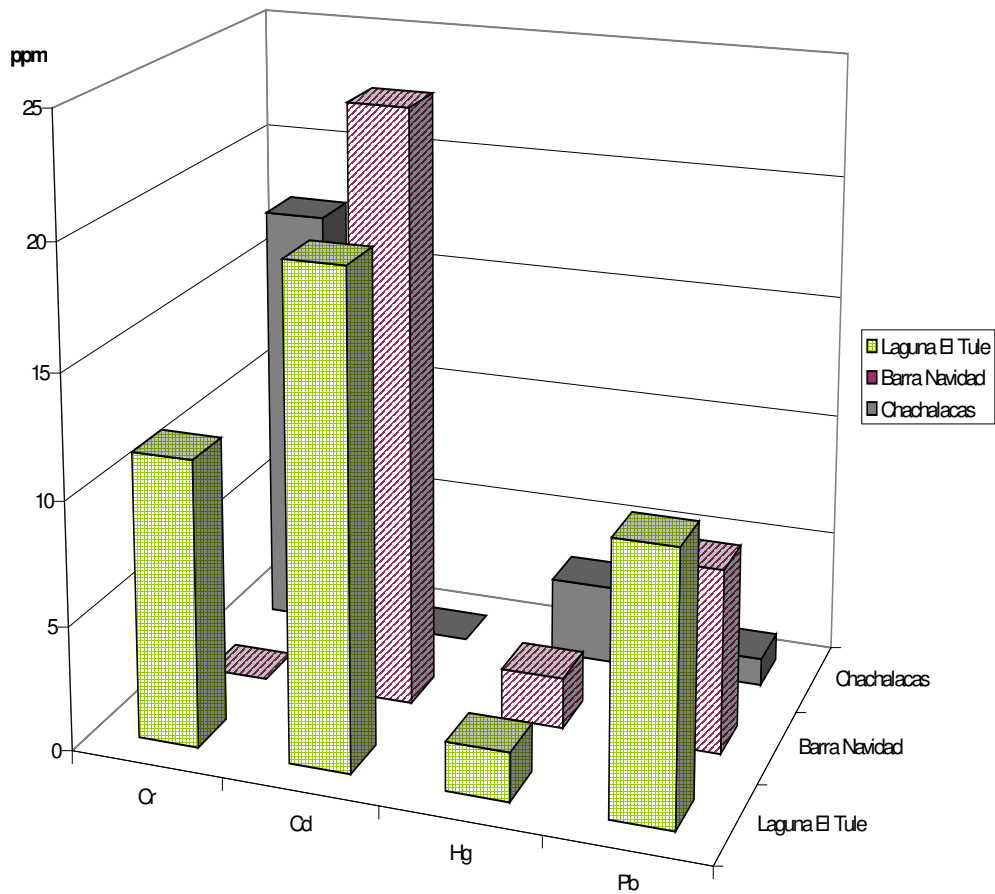
	Laguna El Tule	Barra Navidad	Chachalacas
Cr	1,7	1,9	4,0
Cd	21	7,4	0,0
Hg	3,8	0,9	9,7
Pb	7,1	6,9	3,4



Gráfica 34. Comparativo de la concentración promedio de Cr, Cd, Hg y Pb en tallos de *Eichhornia crassipes* de los tres lugares de muestreo

Tabla 23. Comparativo de la concentración promedio de Cr, Cd, Hg y Pb en raíces de *Eichhornia crassipes* de los tres lugares de muestreo: Laguna El Tule, Albufera Barra Navidad y Chachalacas.

	Laguna El Tule	Barra Navidad	Chachalacas
Cr	11,5	0	17,5
Cd	19,7	24,1	0
Hg	2,0	2,1	3,2
Pb	10,8	7,4	1,1



Gráfica 35. Comparativo de la concentración promedio de Cr, Cd, Hg y Pb en hojas de *Eichhornia crassipes* de los tres lugares de muestreo

De los tres comparativos señalados anteriormente se puede decir que las tendencias en la concentración de metales pesados en cada uno de los tres lugares en los que se recabaron muestras, varían por metal y por parte de lirio analizada; sin embargo, considerando que las raíces están en contacto con el agua mientras que los tallos y las hojas no, es de esperar que la concentración en las raíces sea mayor que en las otras partes de la planta. Por eso mismo se piensa que las raíces son un mejor bioindicador del grado de contaminación en estos lugares. Con base en estos argumentos, la concentración de estos metales en raíz indica que Chachalacas es el lugar más contaminado, lo que era de suponerse ya que en la zona se tiene mayor influencia de la actividad petrolera e industrial. A Chachalacas en contaminación le sigue la Laguna El Tule, lo que no sorprende ya que este lugar está descuidado y recibe las descargas domésticas de la zona. Barra Navidad es el lugar menos contaminado.

CONCLUSIONES

- ✓ Se logró determinar la concentración de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de un sitio en Chachalacas, Veracruz y de cuatro en Melaque, Jalisco.
- ✓ Al analizar el comportamiento de la concentración de metales pesados en *Eichhornia crassipes* y en los cinco sitios muestreados, las raíces presentan mayor bioacumulación, siguiéndole las hojas y finalmente los tallos.
- ✓ Las raíces de *Eichhornia crassipes*, al estar en contacto directo con la columna de agua y los sedimentos suspendidos, hacen de esta parte del lirio un receptor directo de los metales que son vertidos en los cuerpos de agua.
- ✓ Con base en la concentración de metales pesados en *Eichhornia crassipes* de Chachalacas, Veracruz y de Melaque, Jalisco se pudo determinar el sitio que presenta posiblemente problemas de contaminación. En este caso, Chachalacas, Veracruz tiene mayor cantidad de los metales más peligrosos.
- ✓ El sitio 1 denominado "Casa" en la Laguna de El Tule, presentó la mayor concentración de Cr en raíces (177 ppm). Esta concentración puede estar asociada a una descarga de una industria de tenería o textil, ya que sus desechos son cromatos y su acumulación es favorecida por las características fangosas del sitio
- ✓ En el sitio 2 denominado "Jaluco 1" y en el sitio 3 denominado "Jaluco 2" las concentraciones de Sr, Zn, Co, Cr y As permiten observar que las descargas del Municipio de Cihuatlán a la Laguna El Tule son una fuente importante de contaminación en la zona.
- ✓ En los sitios 2, 3 y 4 de Melaque se determinó para V una concentración máxima de 96 ppm y una mínima de 62 ppm. Para Ni se encontró una concentración máxima de 42 ppm y una mínima de 21 ppm. Estos metales están relacionados con actividades petroleras, que no existen en la zona.

Su presencia se puede deber a emisiones atmosféricas que han sido movilizadas por precipitación y escurrimiento a través de la cuenca hidrológica.

- ✓ El sitio 5 denominado "Veracruz" registró la mayor concentración de V en raíces (147 ppm), además también en raíces se determinó la presencia de Ni (10 ppm), por lo que puede ser una evidencia del efecto que causan las actividades petroleras en el Golfo de México.
- ✓ En el sitio 5 denominado "Veracruz" se encontró la mayor concentración de Pb en raíces (63 ppm), de Cd en raíces (5 ppm), de Cr en tallos (20 ppm) y de Hg en hojas (10 ppm).
- ✓ Dado que las mayores concentraciones de metales pesados se registraron en Chachalacas, Veracruz, este lugar presenta más problemas de contaminación por metales pesados que la zona del Pacífico Mexicano. Esto puede estar causado por las actividades antropogénicas, que son más intensas en esta zona que en la del Pacífico Mexicano.
- ✓ A pesar de que existen muchos ecosistemas que cuentan con una cantidad considerable de información, porque han sido ampliamente estudiados, el conocimiento científico de nuestros ecosistemas costeros es aún insuficiente.
- ✓ De la transferencia de los metales pesados de los ríos a los océanos, sólo una pequeña cantidad abandona la zona costera y la mayor parte se queda almacenada en los sedimentos, en donde las concentraciones son más fácilmente medibles. Por esto es que existe una mayor cantidad de estudios que reportan valores de concentración de estos metales pesados en sedimentos.
- ✓ Detectar a tiempo la contaminación de cuerpos de agua por metales pesados, es muy importante porque es más fácil corregir el problema cuando se detecta a tiempo.
- ✓ De la revisión histórica se concluye un incremento paulatino de la concentración de metales pesados a través de los años, en épocas recientes. De esto se enfatiza la importancia de realizar diagnósticos como el que se presenta en este trabajo.

ANEXO A

Lirio acuático, *Eichhornia crassipes*.

El lirio acuático es una planta vascular acuática originaria de América del Sur (Brasil), que se distribuye ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. La *Eichhornia crassipes*, lirio acuático, es una planta hidrófita flotante altamente adaptable a una amplia gama de condiciones ambientales y climáticas (Olvera, 1989).

La clasificación taxonómica del lirio acuático es la siguiente: reino vegetal; subreino Embryophyta; división Spermatophyta; subdivisión Magnolophyta (Angiospermae); clase Liliatae (Monocyledoneae); orden Farinosae; familia Pontederiaceae; género *Eichhornia* y especie *E. Crassipes* (Mart.) Solms. En México recibe varios nombres comunes "lirio acuático" "Jacinto de agua", "cucharilla" y "huachinango" (Sánchez, 1979).

Esta planta perenne, herbácea y libre flotante llega a formar densos tapetes que ocasionando diversos problemas en las actividades humanas que se desarrollan en los cuerpos de agua. Frecuentemente se arraiga al sustrato. Se adapta bien a su hábitat (ríos, lagos, estanques, pantanos, canales y drenes), y exhibe una alta plasticidad morfológica en respuesta a diferentes condiciones de crecimiento.



Figura A-1. Ambiente de la *Eichhornia crassipes*

En estado adulto la planta de lirio se constituye de raíces, rizomas, estolones, pecíolos, hojas, inflorescencias y frutos.

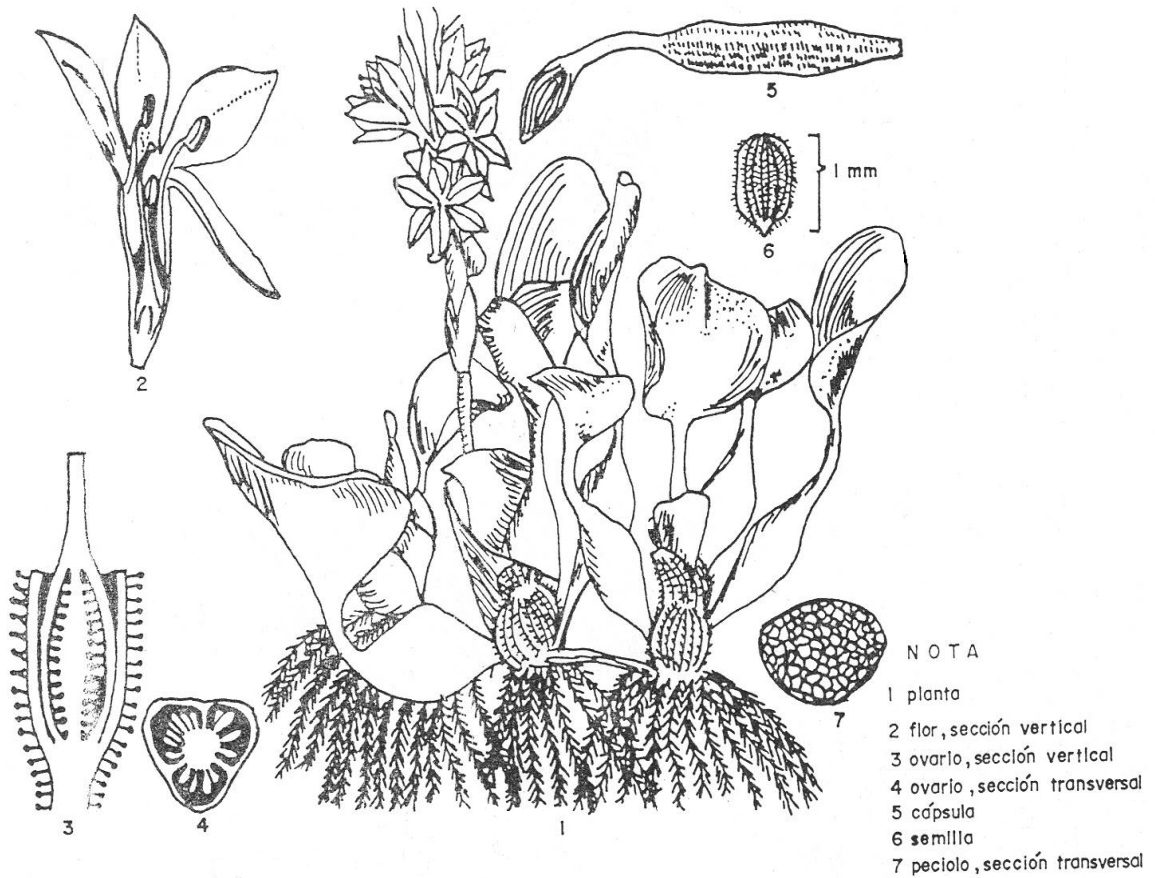


Figura A-2. Morfología de *Eichhornia crassipes* (Fuente: Díaz, 1989)

El contenido de agua en el lirio acuático va de 93 a 96%. Sus partes varían en humedad: raíces 93.4%; rizomas 95.1%, tallo 93.9% y hojas 89.3%, aproximadamente (Olvera, 1989).

La distribución de *Eichhornia crassipes* en México se estima una cobertura de 40,000 ha (35 % de 115,000 ha. cubierta por malezas acuáticas) (Carlos y Contreras, 1981) Ver figura 4.



Figura A-3. Distribución del Lirio acuático, *Eichhornia crassipes*, en México
(elaboración propia basado en la información de Díaz, 1989)

El lirio acuático se puede reproducir asexual o sexualmente. Con una tasa de reproducción que es muy elevada, y además al parecer no tiene depredadores naturales en México, gradualmente el crecimiento del lirio acuático se ha agudizado hasta llegar a ser una verdadera plaga. Sin embargo, el frío parece afectar su crecimiento durante la época de invierno tanto en el norte como en las regiones altas del país.

La presencia del lirio acuático en el país ha alcanzado proporciones de maleza, que genera problemas como el incremento en la evapotranspiración; interferencia en la navegación; obstrucción de flujo de canales y ríos; entorpecimiento de sistemas hidroeléctrico y de irrigación, dificultad para el desarrollo de la pesca; azolvamiento de los cuerpos de agua y desarrollo de poblaciones animales vectores de enfermedades. No obstante los perjuicios que ocasiona el hombre ha sabido aprovechar los beneficios asociados a la presencia del lirio, como su uso en composta, fertilizante, alimento humano, forraje y como fuente de fibra para papel.

Se ha identificado que la proliferación de lirio en los cuerpos de agua obedece al aporte artificial de nutrientes y materia orgánica, en especial nitrógeno y fósforo que acompañan las descargas de aguas residuales, estos contribuyen a la aceleración del proceso de eutroficación.

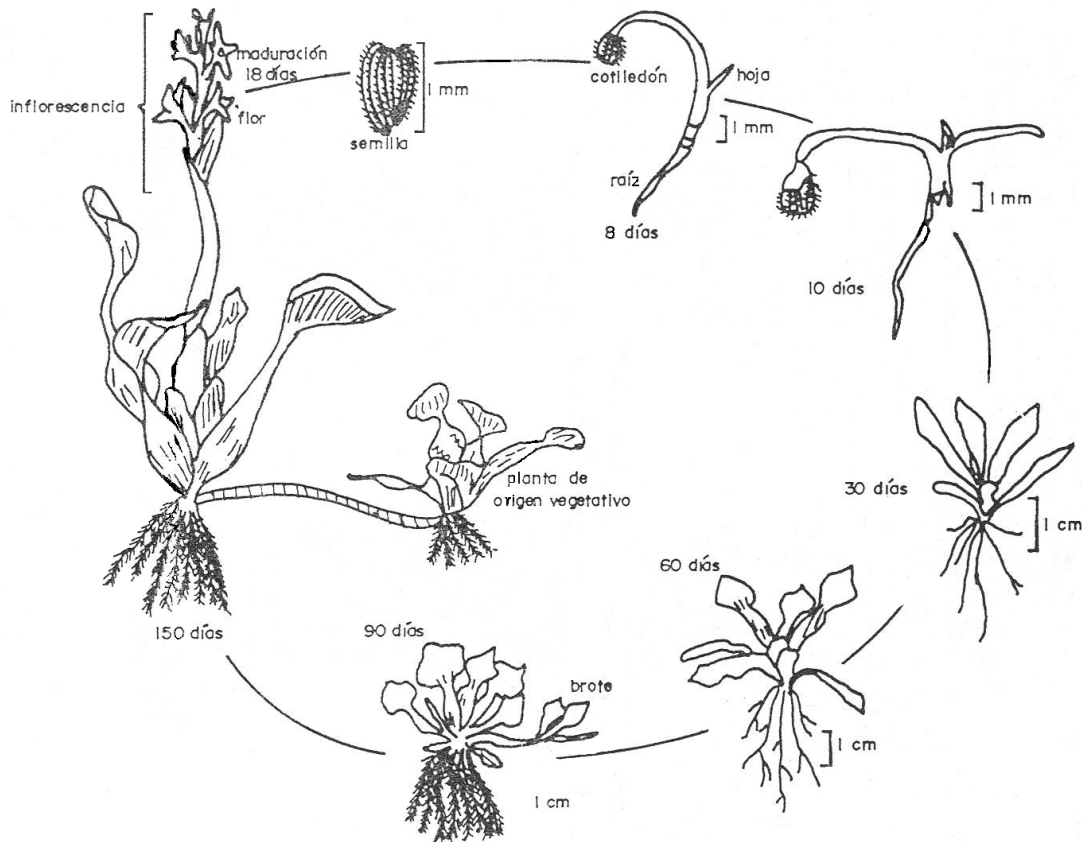


Figura A-4. Ciclo de vida de *Eichhornia crassipes* (Fuente: Díaz, 1989)

El control del lirio acuático, se realiza con el fin de eliminar los efectos adversos de la maleza sobre el ambiente en el cual se ha desarrollado. Los métodos de control comúnmente empleados son el mecánico, el químico y el biológico; el mecánico parece ser el más eficiente por costeable, rápido y altamente seguro.

La utilidad potencial del jacinto de agua, como también se le conoce a esta planta acuática, permite considerarlo un recurso renovable, susceptible de ser aplicado en proyectos agropecuarios (se puede obtener una composta que

fertiliza y mejora suelos agotados), industriales (aprovechamiento de la fibra en la fabricación de papel) y como sistema de tratamiento de aguas residuales (en la producción de biogas y en la remoción de sustancias tóxicas) (Olvera, 1989).

La consideración de la *Eichhornia crassipes*, como elemento en el tratamiento de aguas residuales, se debe a su alta capacidad de remoción de nutrientes debido a: a) su sistema radicular tan extenso, b) su crecimiento vegetativo, y c) su tolerancia a las altas concentraciones de la mayoría de los contaminantes. Sin embargo, sólo se eliminan contaminantes si se extrae y cosecha lirio, cuya consecuencia es tener que depositar el lirio residuo en un sitio adecuado. Este también es capaz de concentrar cantidades importantes de metales pesados, como cadmio, plomo y mercurio, sustancias tóxicas que llegasen a almacenar en 70 y 80 % de la raíz, para soltarlas en el agua cuando la planta envejece y se deterioran sus tejidos (Olvera, 1989).

ANEXO B

PIXE (Particle induced X-ray emission)

La técnica de emisión de rayos x inducida por partículas (PIXE) es un método analítico que requiere de un haz de partículas generada en un acelerador por lo que su origen se sitúa en la Física Nuclear. El nombre es el acrónimo de sus siglas en inglés: Particle – Induced X-ray Emisión e indica el principio básico del método (Johansson, 1995).

Las posibilidades analíticas de PIXE incluyen la capacidad de analizar simultáneamente muchos elementos (todos los elementos de la tabla periódica a partir del sodio). Se puede analizar simultáneamente elementos que incluyen tanto macro elementos como el K y el Ca y micro elementos como metales pesados como son el V, Ni, Cu, Zn, Se, Cd, Hg y Pb (Johansson, 1988).

PIXE es un método analítico basado en la emisión de rayos X. Cuando protones con energías usualmente entre (1-4) MeV arrancan electrones de las capas internas de los átomos, ocurre un rápido proceso de reordenamiento, donde las vacantes producidas se rellenan con electrones de niveles exteriores, como se muestra en la figura A. Cuando la vacante se llena, el exceso de energía se libera mediante la emisión de rayos X y/o electrones Auger. Este último es un proceso no radioactivo y compite con la emisión de rayos X.

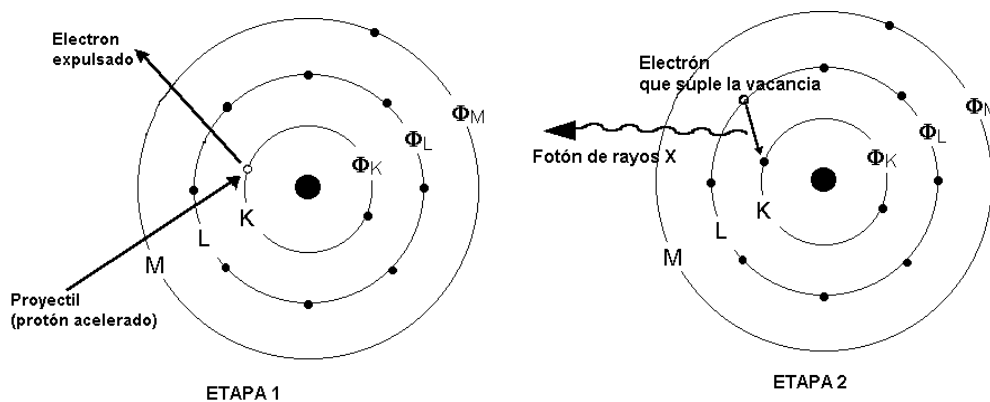


Figura B-1. Etapas de producción de rayos X característicos.

La energía que tiene el fotón emitido es característica del elemento en cuestión. Esto hace posible, con la medición de energía, la identificación del elemento, de tal forma que los elementos presentes en una muestra pueden ser identificados por las energías de los rayos X emitidos y sus concentraciones por las intensidades de los rayos X.

Un espectro típico de PIXE se muestra en la figura B. Está determinado por la existencia de niveles discretos de energía de los electrones que conforman el átomo. El espectro de energía de rayos X consiste de un fondo continuo junto con las líneas de rayos X característicos de los átomos presentes en la muestra. Los rayos x son detectados por un detector de Si(Li) (silicio dopado con litio), o de germanio de tal forma que las señales del tectector son amplificadas y finalmente registradas en un analizador.

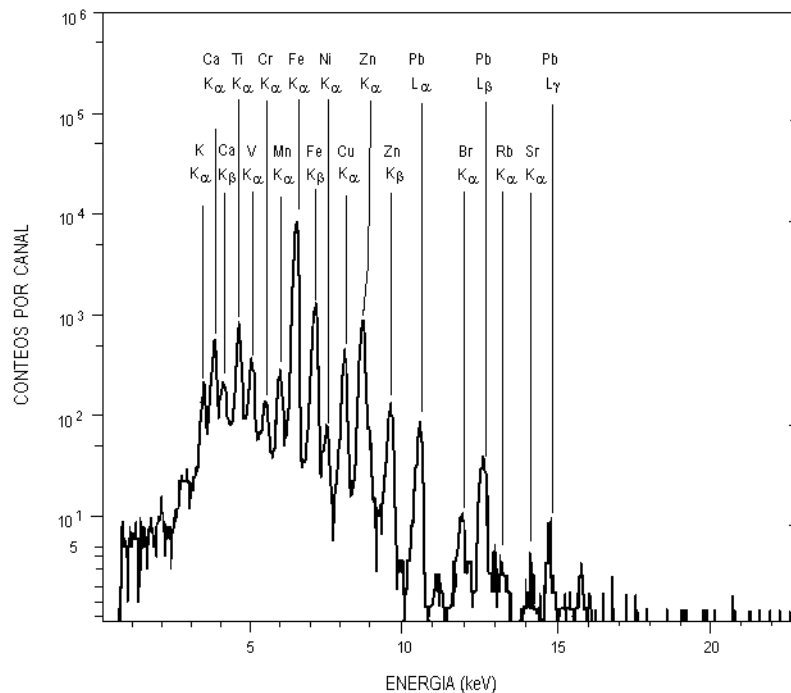


Figura B-2. Espectro típico de PIXE de una muestra de agua de lluvia.

En el espectro obtenido de una muestra las alturas relativas de los picos de rayos X con respecto al nivel de la radiación de fondo determina el límite de detección (LOD) del método para un elemento dado. En general se acepta que el número total de cuentas en un pico debe exceder tres veces la raíz cuadrada de las cuentas de la radiación de fondo sobre el mismo intervalo de energía, para una identificación segura y una cuantificación adecuada del pico correspondiente (Vidal, 2004).

Instrumentación para PIXE

Para el análisis con PIXE se utiliza el acelerador Peletrón 9SDH NEC de 3 MV. En la figura C se muestra el diagrama del Peletrón.

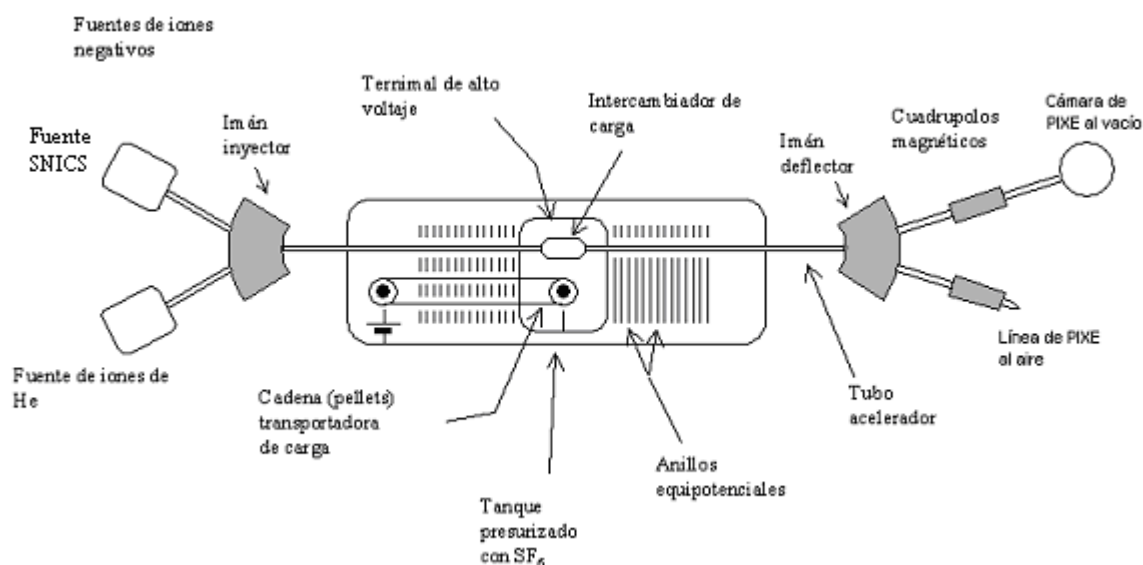


Figura B-3. Representación esquemática del acelerador Peletrón (Instituto de Física, UNAM).

El acelerador Peletrón cuenta con dos fuentes de iones. La primera que es para gases, se conoce como Alphatross. La segunda que es la que se emplea en PIXE, se conoce como SNICS (Sputter Negative Ion Cesium Source). En este caso, el elemento del cual se desean producir iones se encuentra como un sólido en un cátodo de cobre, el cual se bombardea con un haz de iones de cesio,

produciendo un haz de iones negativos mediante la captura electrónica. Los iones son inyectados al acelerador mediante el electroimán inyector. Los iones negativos que entran al acelerador son atraídos a la Terminal proporcionándoles una energía de varios eV, donde, e es la carga del electrón y V es potencial en la terminal.

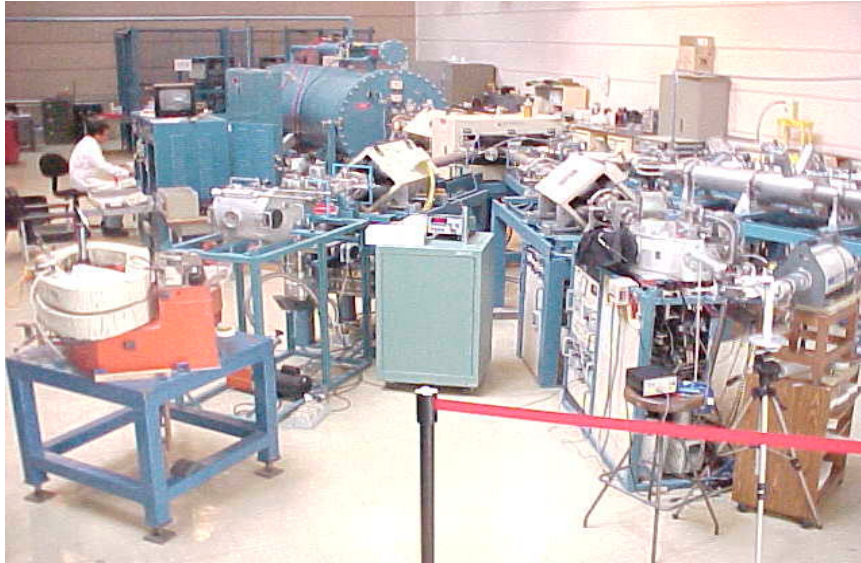


Figura B-4. Acelerador Peletrón 9-SDH de 3 MV (Instituto de Física, UNAM).

En el centro del tanque existe un convertidor de iones negativos a positivos (Nitrógeno a baja presión, llamado stripper). Estos iones ahora se ven empujados por la Terminal, por lo cual se suma una energía nV al haz de iones, donde n es el estado de carga del ion, es decir, el número de electrones que perdió.

Así pues, la energía final E de los iones es:

$$E = (n+1) eV$$

A la salida del acelerador los iones entran a un segundo imán (el imán selector), donde se seleccionan únicamente aquellos iones que posean masa y energía deseadas. El análisis con PIXE se realiza generalmente con protones de 1 a 4 MeV. En el sistema de PIXE utilizado en el Instituto de Física de la UNAM, los análisis

pueden realizarse en condiciones de vacío o bien con un haz externo en condiciones ambiente a través de una ventana delgada de aluminio.

Los rayos X se pueden detectar con un detector (PIXE al vacío) o simultáneamente con dos detectores (al aire). En general se utiliza un detector de Si(Li) para elementos ligeros y un detector de Ge para metales pesados, colocados a una distancia de aproximadamente 5 cm de la muestra y un ángulo de 45° con respecto a la dirección del haz (Vidal, 2004).

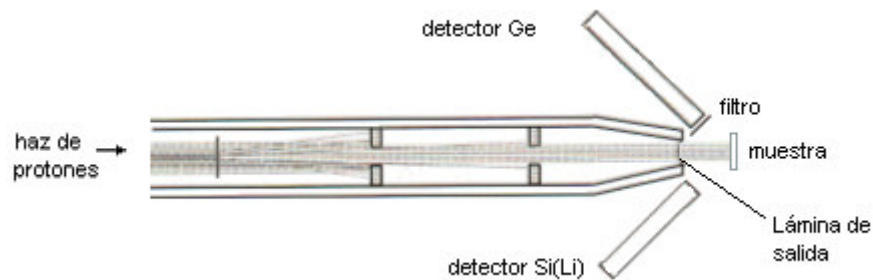


Figura B-5 . Arreglo experimental de la línea de PIXE al aire.

La figura E muestra un dispositivo típico del montaje experimental de PIXE. La corriente del haz se mide con una caja de Faraday en la parte posterior a donde se coloca la muestra.

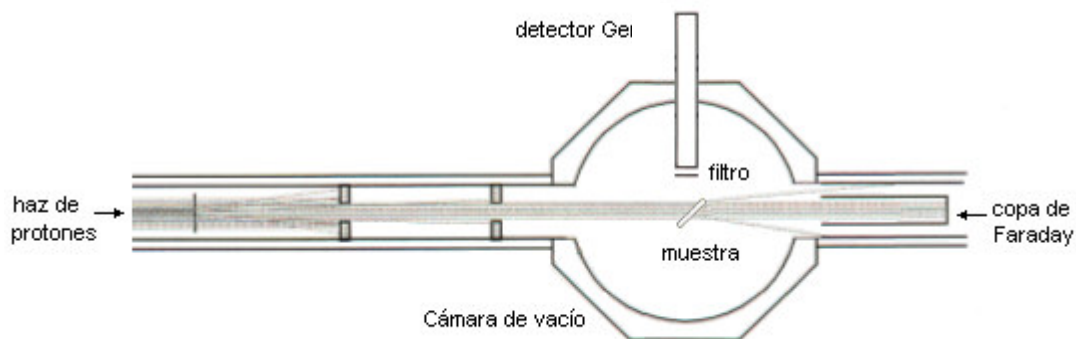


Figura B-6. Arreglo experimental de la línea de PIXE al vacío.

Un detector se puede pensar como una caja que recibe radiación ionizante (fotones X), y que envía información sobre la radiación que incidió sobre él. Debido a que la radiación es ionizante, en el detector aparece con la misma interacción una cierta carga libre. Esta caja lleva la información de la partícula incidente, y por ello, es necesario colectarla. Muchos cuantos de radiación inciden sobre el detector, creando una serie de pulsos de carga.



Figura B-7. Arreglo experimental usado al aire de PIXE. Acelerador Peletrón, Instituto de Física, UNAM.

El primer circuito asociado a un detector es el preamplificador, que recoge la señal (pulso de tensión) del detector y aumenta su amplitud hasta un tamaño que pueda ser procesado por el amplificador. El preamplificador se coloca lo más próximo posible del detector, porque se trata de minimizar la impedancia capacitiva del circuito en su totalidad. Otra función del preamplificador es la de proporcionar tensiones de polarización necesarias para el detector. Normalmente se lleva a cabo a través de la resistencia de carga conectada al circuito principal del preamplificador. El amplificador toma la señal del preamplificador y la aumenta hasta un tamaño que esté dentro del intervalo dinámico del resto de los aparatos para el análisis con cierta forma. La forma del pulso es importante para dos cosas: evitar el apilamiento de los pulsos, que consiste en la suma de dos pulsos si el tiempo entre ellos es demasiado corto, y la razón señal – ruido.

El analizador multicanal (Multichannel Analyzer, MCA), recibe las señales de diferentes amplitudes provenientes del amplificador, las clasifica según su amplitud, y acumula el número de pulsos de una cierta altura. De esta manera registra el espectro de energía de la radiación incidente.

Ventajas y desventajas de la técnica PIXE

El análisis con PIXE se ha convertido en una herramienta de gran importancia utilizada actualmente en investigación básica e investigación aplicada en varias áreas. A continuación se mencionan algunas ventajas y desventajas de esta técnica:

- Aplicabilidad en un amplio rango de número atómico (Z arriba del Na)
- Posibilidad de determinar absolutamente las cantidades de los componentes de una muestra
- Métodos de preparación de muestras sencillos
- Método rápido y multi – elemental
- Alta sensibilidad para la mayoría de los elementos de la tabla periódica. El mínimo límite de detección es de ppm o por debajo (10^{-6} a 10^{-7} g/g)
- Técnica no destructiva, con excepción de muestras biológicas irradiadas con haces de alta densidad de corriente
- Pueden analizarse diferentes tipos de muestras
- Mediciones a presión atmosférica
- Análisis rápido (5 – 10 min)

Algunas desventajas de la técnica PIXE son:

- Se requiere el acceso a un acelerador de partículas
- Equipo costoso
- Rápida disminución de la sección eficaz de líneas K cuando el número atómico Z incrementa para elementos con Z altos, es necesario utilizar las líneas de detección L, las cuales aseguran una sección eficaz más grande.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACOSTA, González Gilberto. Metales pesados en un sistema bentónico de dos arrecifes de coral de Veracruz, Veracruz. Tesis de Licenciatura (Biólogo). FES Iztacala. México, 2002.
2. BAHENA, Manjares José Luis. Evaluación espacial y temporal de metales pesados en la parte baja del Río Coatzacoalcos. Tesis de Maestría (Ingeniería Ambiental). Facultad de Ingeniería. División de Estudios de Posgrado, UNAM 1999.
3. BENÍTEZ, T.J., Contexto regional de algunos contaminantes y sus implicaciones locales en la Laguna Superior, Oaxaca. Tesis de Maestría (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México, 1991.
4. BOTELLO, A. V. Variación estacional del contenido de metales pesados en *Thalassia testudinum* y sedimentos en una zona costera del Golfo de México. Informe Técnico presentado en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 1983.
5. BOTELLO, A. V. et. al. Impacto sobre los sistemas acuáticos. Evaluación Geoquímica del Puerto de Salina Cruz. In: Riqueza y Pobreza en la costa de Chiapas y Oaxaca. Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. México, 1991.
6. BOTELLO, A. V. Impactos ecológicos y sociales de los plaguicidas en las lagunas costeras de Chiapas, México. Informe Técnico Proyecto CONACYT. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, 1996.
7. CARLOS, H.G. y CONTRERAS, R. Inventario nacional de malezas y su distribución. Informe técnico, CIECCA – SARH, México, 1981.
8. CASTILLO, Y. Adriana y O’CONNOR, P. Thomas. Trace element contaminants in sediments from the NOAA National Status and trends programme compared to data from throughout the world. Chemistry and Ecology, 1992.
9. CERVANTES, Carlos y MORENO, S. Rafael. Contaminación Ambiental por Metales Pesados. Impacto en los seres vivos. AGT Editor. México, 1999.
10. CONTRERAS, Espinosa Francisco. Ecosistemas costeros mexicanos. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México, 1993.

11. DE LEÓN, Peña Nájera Olga. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes de dos sistemas costeros del Caribe Mexicano. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM 1987.
12. DÍAZ, Zavaleta Guillermo, et.al. Control y aprovechamiento del lirio acuático en México. CNA Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 1989.
13. Enciclopedia de México. Tomo VII. 1ª edición. México, 1973.
14. Enciclopedia temática de Jalisco. Tomo VIII – Municipios 1. Gobierno del estado de Jalisco. México, 1992.
15. FARHWORTH, E. G. y GOLLEY, F. B. Ecosistemas Frágiles. Fondo de Cultura Económica. México, 1977.
16. FORSTNER, U. & WITTMANN, G.T.W. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer Verlag. 1979
17. GONZÁLEZ, F.A., et. al. Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la Laguna de Sontecomapan, Veracruz México. Hidrobiológica. México, 1994.
18. GUERRERO, C. Y. C. Evaluación de la concentración de metales pesados en el ostión de roca *Cassostrea iridescens*, agua y sedimento de la Bahía de Manzanillo, Col. Tesis de Licenciatura (Biólogo). Facultad de Ciencias, UNAM. México, 1993.
19. GUEVARA, Philippe Norma. "La importancia de las plantas acuáticas" en El faro. La luz de la ciencia. Año IV, Número 48. Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica.(Ciudad Universitaria, 3 de marzo de 2005). pp. 8 y 9.
20. GUTIÉRREZ, Vázquez Ma. Teresa. Geografía Física de Jalisco. Tesis de Maestría en Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM, 1959.
21. HERNÁNDEZ, A. E., et. al. Deterioro del Sistema Lagunar de Mandinga. 6º Congreso Nacional de Geoquímica. Instituto Nacional de Geoquímica, A.C. México, 1995.
22. HORTA, Puga Guillermo y RAMÍREZ, Palacios Rubén. Niveles de plomo en esqueleto del coral arrecifal *Montastrea annularis*. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica. México, 1996.

23. INEGI. La Antigua, Veracruz. E13B39. Carta Topográfica 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, 2002.
24. INEGI. San Patricio, Jalisco. E13B41. Carta Topográfica 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, 2002.
25. INEGI. Cihuatlán, Jalisco y Colima. E13B42. Carta Topográfica 1:50 000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, 2002.
26. JOHANSSON, S. A. E., et.al. A novel technique for elemental analysis. John Wiley & Sons, Chichester , 1988.
27. JOHANSSON, S. A. E., et.al. Particle – Induced X - ray Emission Spectrometry (PIXE). John Wiley & Sons. EUA, 1995.
28. KLEIN, L.A., et. al. Source of metals in New York City waste – water. Journal of Water Pollution Control Federation, 1974
29. LAVOISIER, Salcedo Eric. Metales Pesados en la Laguna Yalahau. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Químico). Facultad de Química, UNAM, 2006.
30. LILL, O.J., et.al. Increased sensitivity in thick – target particle induced X – ray emission analyses using dry ashing for preconcentration. Analytica Chimica Acta. 1998.
31. LUEVANO, M.P. y CAMARGO, F.S. Análisis de algunos oligoelementos en las cercanías al Puerto Veracruz. Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía. Calidad de Aguas en la Dársena del Puerto de Veracruz y Proximidades. México, 1982.
32. MATA, L., L Sánchez, M. Calvo. Mercurio en leche y otros alimentos. Departamento de Tecnología y Bioquímica de los Alimentos. Universidad de Zaragoza.
33. MATA, L., L Sánchez, M. Calvo. Plomo en leche y otros alimentos. Departamento de Tecnología y Bioquímica de los Alimentos. Universidad de Zaragoza.
34. MORENO, Sánchez Rafael y DEVARS, Silvia. Abundancia de los metales pesados en la biosfera. Contaminación ambiental por metales pesados. México, 1999.
35. OLVERA, Viascán Víctor. Biología y Ecología del Lirio Acuático, *Eichhornia crassipes*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 1989.
36. OSUNA, López I. et. al. Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb y Zn en los sedimentos del puerto y antepuerto de Mazatlán. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1986.

37. PÁEZ, Osuna Federico. Efectos de los metales. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica. México, 1996.
38. PÁEZ, Osuna Federico. Fuentes de metales en la zona costera. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica. México, 1996.
39. PÁEZ, Osuna, et. al. Heavy Metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, Mexico. Marine Pollution Bulletin 11. 1986.
40. PÁEZ, Osuna, et. al. Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, Mexico. Marine Pollution Bulletin 18. 1987a.
41. PÁEZ, Osuna, et. al. Níquel y plomo en las fracciones disueltas y particulada del sistema fluvio – lagunar de Términos, México. Anal. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1987b.
42. PÁEZ – OSUNA F., Osuna – López J. I. Acumulación de metales pesados en Mitla: una laguna costera tropical. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, 1987.
43. PÁEZ – OSUNA F., et. al. Heavy Metals and mineralogy in sediments cores from tropical coastal lagoon, Mexico. Indian J. Mar Sci. 1984.
44. PÁEZ – OSUNA F., et. al. Trace metal concentrations and their distribution in the lobster *Panulirus inflatus* from the Mexican Pacific coast. Environ. Pollut. 1995.
45. PÁEZ, Osuna, et. al. Heavy metals distribution in geochemical fractions of surface sediments from the lower Gula of California. Anal. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. México, 1990.
46. PÉRÈS, J. M. La polución de las aguas marinas. Ediciones Omega. España, 1980.
47. PÉREZ – ZAPATA, A. J. Plomo y mercurio en Lagunas costeras de Tabasco. Un ecosistema en peligro. Centro de ecodesarrollo. México, 1981.
48. PIETERSE, H. Arnold y MURPHY, J. Kevin. Aquatic Weeds: The ecology and management of nuisance aquatic vegetation. Oxford University Press. Oxford Science Publications, 1990.

-
49. PONCE, Vélez Ma. Guadalupe. Evaluación de metales pesados en sedimentos recientes y tejidos de ostión *Crassostrea virginica* de la Laguna de Términos, Campeche, México. Tesis de Licenciatura (Biólogo). Facultad de Ciencias, UNAM, 1988.
 50. PONCE, Vélez Ma. Guadalupe. Evaluación de metales pesados e hidrocarburos aromáticos polinucleares en la zona costera del Golfo de México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias. División de Estudios de Posgrado, UNAM, 1995.
 51. PULICH, M. W. Heavy metals accumulation by selected *Halodule wrightii* *ASH* populations in the Corpus Christi Bay Areas. Marine Science, 1980.
 52. RÍOS, Quiroz Leticia. Evaluación de las concentraciones de metales pesados en sedimento de la plataforma continental de los Estados de Veracruz y Tabasco, México. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, 1993.
 53. ROBLEDO, M.F. Evaluación de la calidad del agua y la calidad sanitaria del ostión (*Crassostrea virginica*) en el agua de Pueblo Viejo, Ver., Mexico. Escuela de Ciencias Biológicas, Universidad de Tampico, Tamaulipas. México, 1987.
 54. RODRÍGUEZ, Castañeda Ana Patricia. Evaluación de Metales en sedimentos, agua y biota de las Laguna Salada, El Llano y La Mancha, Veracruz México. Tesis de Licenciatura (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM, 1994.
 55. ROSALES, H. L., et. al. Sedimentological and chemical studies in sediments from Papaloapan River system, Veracruz, Mexico. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 1986 (a).
 56. ROSALES, H. L., et. al. Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, Mexico. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 1986 (b).
 57. ROSALES, H. L., et. al. Heavy metals in rocks and stream sediments from northwestern part of Baja California, Mexico. Revista Internacional Contaminación Ambiental 10:77 – 82 , 1994.
 58. ROSAS, P.I., et. al. Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of Mexico. Water, Air and Soil Pollution, 1983.

-
59. RUIZ, Noria Otilia Zelindabeth. Presencia de Fe y Cr en *Thalassia testudinum* del Golfo de México y Mar Caribe. Tesis de Licenciatura (Ingeniero Químico). Facultad de Química, UNAM, 2005.
60. SÁNCHEZ, S.O. La flora del Valle de México. Ed. Herrero. México, 1979.
61. SARKAR, Bibudhendra. Heavy Metals in the Environment. Marcel Dekker, Inc. E.U.A., 2002.
62. SLOCUM, D. Perry y ROBINSON Peter. Water Gardening: Water lilies and lotuses. Timber Press. E.U.A., 1997.
63. SOTO, Jiménez Martín Federico. Distribución de metales pesados en los sedimentos del Puerto de Mazatlán y áreas adyacentes: su normalización y fraccionamiento geoquímica. Tesis de Maestría (Ciencias del Mar). Colegio de Ciencias y Humanidades. Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado, UNAM. 1998.
64. TAMAYO, L. Jorge. Geografía General de México, Geografía Física. México, 1949.
65. TOVAR, Juárez Edgar. Evaluación de metales pesados en dos sistemas bentónicos arrecifales de Veracruz, Ver. FES Iztacala, UNAM, 2000
66. UNEP. Cadmium, lead and tin in the marine environment. Regional Seas Report and Studies. No. 56. United Nations and United Nations Environment Program, 1985.
67. VALENCIA, J. J. L., Registro sedimentario de metales pesados en la laguna Ilusiones, Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. División Académica de Ciencias Básicas, Biología. Unidad Sierra. México, 1989.
68. VALDESPINO, Saenz Job. Determinación de metales pesados en *Thalassia testudinum* en dos zonas de la Península de Yucatán. Tesis de Licenciatura (Químico Farmacéutico Biólogo). Facultad de Química, UNAM, 2005.
69. VÁZQUEZ, F.G., et. al., Concentrations of elements and metals in sediments of the southeastern Gula of Mexico. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 2001.
70. VIDAL, Hernández Mónica. Aplicación de PIXE en la determinación de metales pesados y elementos traza en leche de vaca. Tesis de Licenciatura Química de Alimentos. Facultad de Química. UNAM, 2004.

71. VILLANUEVA, Estrada Ruth Esther. Evaluación de metales pesados en el área de las plataformas petroleras e la Bahía de Campeche. Tesis de Maestría (Maestría en Ciencias de Mar). Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 2000.
72. VILLANUEVA, F. S. Evaluación de metales pesados en sedimentos y organismos del río Coatzacoalcos y áreas adyacentes, Veracruz, México. Tesis Profesional. ENEP Zaragoza, UNAM, 1987
73. VILLANUEVA, Fragoso Susana y PÁEZ, Osuna Federico. Niveles de Metales en el Golfo de México: Agua, Sedimentos y Organismos. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica. México, 1996.
74. VILLANUEVA, Fragoso Susana y PÁEZ, Osuna Federico. Fuentes de metales en la zona costera. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX Serie Científica. México, 1996 b.
75. VILLANUEVA, S. & BOTELLO, A.V. Metal Pollution in Coastal Areas of Mexico. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM. México, 1998.