



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
**I Z T A C A L A**

**Determinación de metales pesados  
(Fe, Mn, Pb y Zn) en macroalgas  
clorofitas del Sistema Arrecifal  
Veracruzano**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

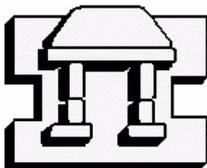
**B I O L O G O**

P R E S E N T A:

**MA. YAZMIN MORLÁN CAHUE**

DIRECTOR DE TESIS

BIOL. JOSE LUIS TELLO MUSI





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **Dedicado**

A mi querida familia:

A mi Padre por creer en mi, por su ejemplo de trabajo y dedicación, por que sin él, nada de lo que existe para mi, sería posible.

A mi madre y mis hermanas por su presencia indispensable y su apoyo irremplazable.

A Luis por su amor, por el mar y la vida, por ser indispensable.

Agradecimientos:

A mi sen-sei (M. en C. Guillermo Horta-Puga).

A Jose Luis por su ayuda en la realización de esta tesis

A todos los profesores que contribuyeron en mi formación a lo largo de la carrera y en especial a aquellos que se convirtieron en buenos amigos.

A mis compañeras Edith, Conny y Alicia, por su compañía y los buenos momentos.

*No ensucies el agua al rededor tuyo, podrías tener que tomarla algún día*

Proverbio mexicano

*Todos lo ríos corren hacía el mar, aun el mar no esta lleno*

La Biblia, Eclesiastés 1:7

*Todo lo que le ocurra a la tierra le ocurrirá a los hijos de la tierra.*

*El hombre no tejió la trama de la vida, el es solo un hilo, lo que hace con la trama se lo hace a sí mismo.*

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>Introducción</b>	
<b>El Sistema Arrecifal Veracruzano</b>	<b>2</b>
<b>Contaminación por metales</b>	<b>3</b>
<b>Macroalgas como indicadores de contaminación</b>	<b>4</b>
<b>Antecedentes</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos</b>	<b>7</b>
<b>Área de estudio</b>	<b>8</b>
<b>Materiales y Métodos</b>	<b>10</b>
<b>Resultados</b>	<b>13</b>
<b>Hierro</b>	<b>15</b>
<b>Zinc</b>	<b>20</b>
<b>Manganeso</b>	<b>24</b>
<b>Plomo</b>	<b>28</b>
<b>Discusión</b>	<b>31</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>39</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>40</b>
<b>Anexo</b>	
<b>I. Descripción de especies</b>	<b>47</b>
<b>II. Descripción de metales</b>	<b>53</b>
<b>III. Tabla de antecedentes</b>	<b>60</b>

## RESUMEN

Los arrecifes cercanos al puerto de Veracruz son una zona que ha estado expuesta al impacto del hombre en continuo incremento con el tiempo. Con el propósito de aportar datos que nos ayuden en un futuro a evaluar la calidad ambiental de este ecosistema, en este estudio se determinó la concentración de algunos metales pesados, que podrían estar influenciando al sistema. Se obtuvieron las concentraciones de Hierro, Manganeso, Zinc y Plomo en *Caulerpa cupressoides*, *C. sertularioides*, *C. racemosa*, *Halimeda discoidea* y *H. opuntia* en los arrecifes Anegada, Blanquilla, Gallega, Galleguilla, Hornos, Pájaros, Sacrificios y Verde, en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), por medio de espectrofotometría de absorción atómica a la flama, tratando de encontrar alguna relación entre las concentraciones de metales y la distribución de los mismos, con respecto a la ubicación de los arrecifes frente al puerto de Veracruz, Ver. Se encontró que cada metal tiene un rango de concentración diferente, dependiendo de la especie en la que es analizado y del área de muestreo. Para el Plomo no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de los diferentes arrecifes. Para los demás metales, la Gallega fue el arrecife que con mayor frecuencia presenta las concentraciones más altas de metales y Verde y Blanquilla las más bajas. Dado que las concentraciones de metales, en las especies recolectadas en el SAV, son por lo general igual o mayores a las concentraciones en especies reportadas para áreas contaminadas, podríamos suponer que las actividades de la ciudad están afectando directamente las condiciones ambientales de los arrecifes del SAV.

# DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS (Fe, Mn, Pb y Zn) EN MACROALGAS CLOROFITAS DEL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO

Ma. Yazmín Morlán Cahue

Palabras clave: algas, metal pesado, sistema arrecifal veracruzano, clorofita.

## INTRODUCCIÓN

### El Sistema Arrecifal Veracruzano

Un arrecife es una estructura construida por organismos vivientes; son ecosistemas que se desarrollan en los trópicos, formados por la asociación de una gran cantidad de organismos, los cuales ocupan distintos nichos ecológicos. Los principales organismos formadores de arrecifes son los corales escleractinios y las algas calcáreas, quienes constituyen la base y el sustrato para el desarrollo de otras especies (Goreau, 1979, Jordan, 1988). Dichos ecosistemas se encuentran entre los más diversos y productivos de la tierra, junto con los manglares, lagunas costeras, estuarios y otras zonas litorales pantanosas; son ambientes de alta productividad y albergan un mayor número de especies que cualquier otro ecosistema marino y terrestre, cumpliendo con una función igualmente crítica como áreas de refugio, cría y alimentación de las numerosas especies que las habitan. La habilidad de un arrecife para mantener una gran diversidad y productividad biológica es indicativo de una comunidad altamente compleja y madura, representando un triunfo de la simbiosis alga-animal. (Botello, 1996; Vargas-Hernandez, *et.al.*, 1993).

La distribución de los arrecifes se limita geográficamente en dos provincias biogeográficas: la Indopacífica y la del Caribe, entre los 35°N y 32°S, prosperan en condiciones ambientales estrictas sin grandes variaciones de temperatura (20-28°C.), salinidad, sedimentación o nivel de nutrientes disueltos, por esto las especies que lo componen no han desarrollado mucha resistencia a fluctuaciones en el ambiente físico. Por lo tanto, nuevas variables o desviaciones pequeñas de los parámetros comunes pueden acarrear situaciones catastróficas con mucha facilidad (Vargas-Hernández, *et.al.*, 1993; Johannes, 1972).

Por los factores antes expuestos, las costas veracruzanas son privilegiadas por tener complejos de alta relevancia ecológica; ya que a pesar de pertenecer a la provincia del caribe no es rica en áreas arrecifales; debido a la turbiedad de sus aguas y la escasez de lechos rocosos, las formaciones coralinas aparecen dispersas en pequeñas áreas. Dichos arrecifes sirven como corredor biológico para diseminación de especies entre las áreas arrecifales caribeñas y las de florida. Son importantes en la subsistencia de economías locales, pero su complejidad los hace vulnerables (Vargas-Hernández, *et.al.* 1993; Jordan, 1988; Loya, 1972; Stoddart, 1969; Yonge, 1963). De donde se desprende la importancia de la realización de estudios que tengan que ver con el monitoreo, la evaluación y el desarrollo de procesos que puedan poner en peligro la estabilidad e integridad del ecosistema.

El puerto de Veracruz es un área de intenso tráfico marino, de actividades energéticas, petroleras, pesqueras, con trabajos de dragado y de perforación del piso oceánico, alto crecimiento de población y de desarrollo turístico, por lo que difícilmente

pueden mantenerse las condiciones de estabilidad en los arrecifes del área; estos arrecifes, por años, han sufrido las consecuencias del vertimiento masivo de toda clase de desechos de la industria química, manufactura de textil, papel, madera, siderúrgica, procesadora de alimentos, cervecera, de calzado, además de los pesticidas y fertilizantes empleados en la industria agropecuaria de las principales ciudades veracruzanas como: Mendoza, Río Blanco, Nogales, Orizaba, Córdoba, Jalapa, Veracruz, Alvarado, etc (Rosales, *et. al.* 1986).

El Diario Oficial de la Federación Mexicana (1992), publicó la declaratoria de Área Natural Protegida a una zona costera del Golfo de México, bajo la denominación de Parque Marino Nacional: Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). Este parque cuenta con 29 especies de corales hermatípicos pertenecientes al Filo Cnidaria, Clase Anthozoa, Orden Escleractinios, que se distribuyen en un conjunto de 23 plataformas arrecifales ubicadas en el Estado de Veracruz, con un área de 522.3 km<sup>2</sup> (Carricart y Horta, 1993). El SAV está formado por bajos, islas y arrecifes, situados en la porción interna de la plataforma continental, que se eleva desde profundidades cercanas a los 40m. Está construido en un banco de restos bioclásticos calcáreos de materiales coralinos, pertenecientes al Pleistoceno reciente y es producto del descenso en el nivel del mar, debido a la última glaciación (Emery, 1963). Este es el sistema arrecifal más desarrollado en el Golfo de México. Debido a su localización y la cercanía con la costa, los organismos se encuentran expuestos a un alto grado de contaminación química y a condiciones poco óptimas, debido a la explotación de las actividades humanas al arrecife como la pesca, el turismo y el comercio. Estas prácticas repercuten en detrimento del coral y la muerte de los organismos (Nienhuis, 1986; Horta, *et al.* 1997). A pesar de ser declarado parque marino nacional, se sigue utilizando como área de pesca y de extracción de corales y otras especies, no hay un control estricto para estas actividades, por parte de las autoridades, y se han mermado considerablemente estos recursos, ya que la pesca cada año es inferior en calidad y cantidad (Horta, 1995 y 1997).

### **Contaminación por metales**

Uno de los principales agentes de contaminación de la zona costera son los denominados metales pesados, dicho término se refiere a aquellos elementos metálicos que en su forma elemental tienen pesos específicos mayores a 5 g/cm<sup>3</sup>. La movilización de esos metales, por el hombre, ya supera los flujos naturales derivados de procesos geológicos, deducidos de las descargas fluviales (Mandelli, 1979). Los metales forman parte de la bioquímica de los seres vivos y de estos hay un pequeño grupo involucrado en la composición iónica de los fluidos intra y extracelulares, así como otro grupo constituido principalmente por elementos de transición, requeridos en cantidades traza para realizar diversas actividades metabólicas (Paez, 1999). La mayoría de los metales pesados presentan todas las propiedades propias de una sustancia que se considere contaminante, como son toxicidad a corto o mediano plazo, persistencia y tendencia a ser bioacumulado en la cadena alimenticia (Mandelli, 1979). La introducción de los metales, en los organismos, se da por vía directa a través de la superficie corporal, durante la respiración y mediante la ingestión de alimentos, pasando a través de las membranas celulares, esencialmente por procesos de transporte pasivo o por endocitosis (Romeril, 1971; Bryan, 1971; Villanueva, *et al.* 1988, Paez, 1999). Muchos tejidos de los organismos marinos acumulan grandes cantidades de metales y no hay evidencia de que se movilizan, por lo que se considera que estos depósitos son parte de un sistema de bioacumulación, en el que participan proteínas y células específicas, como las melationeinas (Cross, *et al.* 1973; Paez, 1999). Aunque la toxicidad

de los metales pesados depende en gran medida de la especie química bajo la que se encuentran, los efectos de los metales, en general, se relacionan con las perturbaciones de los sistemas enzimáticos ubicados en los compartimentos intracelulares. Entre los efectos subletales están la reducción del crecimiento del fitoplancton, macroalgas, moluscos y peces; las deformidades en peces y moluscos; la inhibición de la reproducción en macroalgas y poliquetos, el deterioro de la embriogénesis en bivalvos y el descenso de la fertilización en peces (Jackim, 1970; Mandelli, 1979; Paez, 1999). La estimación de las concentraciones naturales y de los aportes antropogénicos de los metales pesados, permite evaluar el nivel en que se encuentra afectada una zona. Para tal propósito, es indispensable analizar la columna de agua, los sedimentos y los organismos, especialmente aquellos de hábitos bentónicos y filtradores, los cuales han sido extensamente empleados como indicadores de contaminación (Páez, *et al.* 1986 y 1987; Villanueva, *et al.* 1988 y 1992).

### **Macroalgas como indicadores de contaminación**

Las algas pueden actuar como indicadores de la salud o determinar el grado de daño ecológico a su hábitat, ya que contienen trazas de todos los elementos presentes en su medio, y pueden usarse como indicadores de contaminación en las áreas costeras (Shubert, 1984, Salwa, *et al.* 1997; Buo-Olayan y Subrahmanyam, 1996; Aulio, 1983; Melhsus y Seip, 1978). El principal papel de las algas bentónicas en las comunidades naturales es la producción primaria, pasando a través de ellas casi todas las vías de transformación de sustancias inorgánicas en orgánicas (Santelices, 1977, Shubert, 1984, Saeta, *et al.* 1997). Las algas son un componente vital del ecosistema arrecifal coralino, no solo proveen todo el material orgánico para los otros organismos arrecifales, además su actividad calcárea es esencial para la formación del arrecife (Borowitzka y Larkum, 1981).

Las aguas de los océanos tropicales, en donde se encuentran los arrecifes de coral, son bajas en nitrógeno inorgánico. Varios estudios han mostrado que las algas se adaptan muy bien a los nutrientes disponibles y los convierten a biomasa, o los almacenan para usarlos cuando el suplemento de nutrientes es limitado. Se ha sugerido que la rica vida del arrecife depende parcialmente de la resuspensión de nutrientes del agua de fondo.

El papel principal de las algas se caracteriza según su forma en: a) macrofitas carnosas, como productores primarios y fijadores y recicladores de nutrientes; b) algas que crecen en arena y como césped, además de los anteriores, como fijadores de nitrógeno, c) macrofitas calcáreas como productores primarios, como formas sedimentantes y como constructores y consolidadores de arrecifes; d) algas perforadoras, como modificadores de los arrecifes y como componentes esenciales del grupo de organismos que forman la estructura caliza del arrecife. Las formas arrecifales pueden ser divididas en tres grupos funcionales: los cementantes, los estructurales y los sedimentantes. No solamente participan en la formación de caliza arrecifal, también contribuyen al rompimiento de ella, como las algas barrenadoras que penetran dentro de los esqueletos muertos de los corales, formando organismos y suavemente rompen estos interiores hasta formar arena, llenando los espacios intersticiales, modificando y consolidando la estructura arrecifal. La gran acumulación de algas se da en aguas poco profundas, donde la presión del pastoreo es reducida, o en primavera cuando el crecimiento algal es mayor que el consumo de los herbívoros, en ello radica la importancia del pastoreo. La alta presión de pastoreo mantiene la comunidad algal, especialmente al pasto algal en alta productividad. Las algas pueden ser las mejores trampas de nutrientes, liberando después a los otros organismos del arrecife por pastoreo o remineralización, siguiente a la muerte; las algas actúan como captadores y

recicladores (Saeta, 1997; Zizumbo, 1995; Borowitzka y Larkum, 1991). Cuando el medio está eutrofizado, puede existir una proliferación de dichas algas y cuando no existen organismos ramoneadores que controlen dicha proliferación; estas algas pueden competir por espacio con los corales o simplemente disminuyendo la transparencia del agua, no dejando pasar la luz y provocando su muerte. Las algas macroscópicas que se encuentran en el ambiente marino pertenecen a las clorofitas, feofitas y rodofitas; siendo las clorofitas las más abundantes en los trópicos (Santelices, 1977, Bold y Wyne, 1978, Dawes, 1986).

## ANTECEDENTES

Melhuus y Seip (1978), usando algas bénticas como indicadores de contaminación en Sorfjorden; Noruega; encontraron valores de zinc 10 veces mayores en toda el área que los reportados en estudios previos. Wong *et al.* (1979) en un estudio de contenido de metal, en dos algas clorofitas marinas, en Hong Kong, revelaron que el contenido de Fe, Mn, Pb y Zn en zonas contaminadas fue más alto que en sitios libres de contaminación, lo cual sugiere, según los autores, que las algas fueron capaces de adaptarse a ambientes adversos con altos niveles de elementos traza y baja concentración de nutrientes básicos. Phillips (1991), en las costas de Qatar, realizó un estudio del contenido de metales pesados en diferentes algas, obteniendo que los elementos biológicamente activos o esenciales, Fe, Mn, Zn y Cu son más altos que los niveles de elementos no esenciales como Hg, Cd, Co, Pb y Ni. El promedio de las concentraciones de los metales fue para el Pb, 1.1 ppm, Zn 5.4 ppm, Mn 7.4 ppm, Fe 43.4 ppm. Los altos valores, en el caso de cada metal, indican un cierto grado de contaminación. Además de estos estudios de metales pesados en algas, se encuentran entre los más importantes los de Bryan (1971), Fuge and James (1974), Bohn (1979), Phillips (1979), Khummongkol *et al.* (1982), Dissanayake (1985), Austin *et al.* (1985), Burdin y Bird (1994), Karez *et al.* (1994), Karez y Pereira (1995), incluyéndose en los siguientes trabajos especies de algas clorofitas: Melhuus y Seip (1978), Shiber y Shatila (1979), Wong *et al.* (1979), Wilkinson *et al.* (1980), Foster (1982), Aulio (1983), Vimazal (1984), Shiber (1980), Simoes y Lopes (1989), Zolotukhina *et al.* (1992), Güven *et al.* (1993), Buo-Olayan y Subrahmanyam (1996), Haritonidis y Malea (1999), Muse *et al.* (1999), Jordanova *et al.* (1999), Phaneuf *et al.* (1999); Güven *et al.* (1992) estudiaron el contenido de metales en algas del Mar Negro de 1979 a 1988 donde encontraron que la contaminación aumentó durante este tiempo y que los principales metales acumulados en algas verdes fueron Al, Cr y Fe. Denton y Burdon-Jones en 1986 obtienen concentraciones para seis metales en algas clorofitas de la Gran Barrera Arrecifal, entre las cuales se encuentran *Caulerpa racemosa* y *C. cupressoides*; Davee *et al.* (1982) obtienen la concentración de 8 metales en el alga *C. racemosa*.

Los trabajos en México, sobre metales pesados en algas, son los de De la Lanza (1989), con varias especies de clorofitas en Baja California Sur; González (1994), en la laguna de Sontecomapan Veracruz, con el alga *Cladophoris membranacea*; en el Sistema Arrecifal Veracruzano existen los estudios de Tovar (2000) con *Dyctiota volúbilis* y *Ceritium crinale* y Acosta (2002) con *Dyctiota guineensis*, donde sitúan a los arrecifes la Gallega y Hornos en un grupo con concentraciones más altas que otro grupo en el que se encuentra el Verde. Este último arrecife es uno de los que presentan los valores más bajos de metales (Noriega, 2001; Tovar, 2000). Acosta (2002), reporta en algas y equinodermos concentraciones altas de metales en la Gallega; sin embargo, también Isla Verde presenta

altas concentraciones y concluye que ambos arrecifes presentan problemas de contaminación por metales pesados. Para los autores resulta evidente que la Gallega, por su cercanía a la ciudad y puerto, sea el que presente las mayores concentraciones de metales; sin embargo, y aun con estas diferencias, ambos arrecifes presentan ciertas similitudes en cuanto a dichas concentraciones, por consiguiente considera la distancia entre ellos como no significativa, para evidenciar diferencias marcadas y atribuye dicha homogeneidad al régimen de corrientes que podría estar acarreado los elementos provenientes de éstos los ríos Papaloapan, Jamapa y de la Antigua, hacia los arrecifes estudiados (Acosta, 2002; Noriega, 2001; Tovar, 2000).

Para evaluar las condiciones de este sistema, en este estudio se selecciono a las algas *Halimeda opuntia*, *Halimeda discoidea*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa cupressoides* y *Caulerpa sertularioides* (Anexo I), que son organismos característicos de los ambientes bentónicos costeros y arrecifales del Golfo de México y de gran parte del Atlántico tropical, y cumplen con las características consideradas para el análisis químico, como son: gran capacidad de acumular metales pesados, biomasa suficiente y abundante, que permita la colecta de muestras de un tamaño apropiado para su análisis; su presencia en cualquier época del año y tamaño individual que permite la toma de organismos sin afectar la población (Ravera y Riccardi, 1997). En cuanto a los metales analizados, nos interesa en particular el Zinc (Zn) y el Plomo (Pb), por ser mencionados como buenos indicadores de actividades humanas, y el Fe y Mn como elementos móviles que indican generalmente patrones de eutroficación y forman precipitados con otros metales pesados (Försnter y Salomons, 1980, citado en Aulio, 1983). Fe, Mn, Zn son elementos biológicamente activos o esenciales, que deben presentarse en niveles mas altos que los niveles de elementos no esenciales. Estos metales son utilizados en varias industrias como la de celulosa y papel, petroquímica, química, fertilizantes, refinerías de petróleo, acero, fundidoras, cemento y termoeléctricas (Villanueva y Botello, 1982). Todas estas actividades ubicadas dentro y en las cercanías de la ciudad y puertos de Veracruz. México es un país en su mayoría rural, el lavado de los fertilizantes de las tierras va a dar a los ríos y finalmente al mar dichos fertilizantes contienen altos niveles de Fe, Mn y Zn.

Por los factores antes mencionados y dada la capacidad de las macroalgas bentónicas de acumular metales pesados, de sus antecedentes como buenos indicadores de contaminación, de la tendencia de los niveles de metales a incrementarse de continuo en el tiempo en las aguas y organismos de las áreas costeras del Golfo de México, de la cercanía de estos arrecifes al puerto y a las descargas de aguas residuales de la ciudad de Veracruz, además de la carencia de trabajos que se enfoquen a evaluar la calidad ambiental de este ecosistema arrecifal es que se plantean los siguientes objetivos.

## OBJETIVOS

**General.** Contribuir al conocimiento de la contaminación por metales pesados en el Sistema Arrecifal Veracruzano.

### **Particulares.**

- Determinar los niveles de metales pesados (Fe, Mn, Pb y Zn) en *Halimeda opuntia*, *Halimeda discoidea*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa cupressoides* y *Caulerpa sertularioides* en los arrecifes Hornos, Galleguilla, Gallega, Blanquilla, Anegada de adentro, Verde, Pájaros y Sacrificios.
- Determinar si las diferentes especies de macroalgas (*Halimeda opuntia*, *Halimeda discoidea*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa cupressoides* y *Caulerpa sertularioides*) presentan concentraciones de metales similares.
- Con base en las concentraciones de metales pesados en las especies de algas, determinar si existe diferencia entre los arrecifes.

## AREA DE ESTUDIO

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) (figura 1) está formado por un conjunto de 23 arrecifes costeros y de plataforma, ubicados en el estado de Veracruz, frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado, sección Antón Lizardo. Incluye 2 áreas, geográficamente separadas, por la desembocadura del río Jamapa-Atoyac, los grupos Norte y Sur. El grupo norte (tabla 2), que constituye el área de estudio, se localiza frente al Puerto de Veracruz y comprende los arrecifes de:

Arrecife		Localización
Anegada de adentro		19°13' 48'' N y 96°03'46'' W
Blanquilla		19°13'24'' N y 96°05'49'' W
Gallega		19°13'13'' N y 96°07'37'' W
Galleguilla		19°13'53'' N y 96°07'37'' W
Hornos		19°11'25'' N y 96°07'19'' W
Sacrificios		19°10'26'' N y 96°05'32'' W
Pájaros		19°10'50'' N y 96°05'43'' W
Verde		19°11'50'' N y 96°04'06'' W

**Cuadro 1.** Arrecifes muestreados y su localización geográfica.

Los arrecifes están contruidos en un banco de restos bioclásticos calcáreos de materiales coralinos del Pleistoceno. La principal característica física de estos arrecifes es su alargamiento en sentido NW a SE, debido a la dirección del oleaje. La planicie arrecifal tiene un promedio de 1.10 m de profundidad. Según el Centro de Previsión del Golfo, en Veracruz, Ver., se considera el clima de la zona como caliente-húmedo, con lluvias en verano, correspondiente a un clima A(W2'')(W)(i''). El esquema climático se sintetiza en 2 épocas de año; la época de nortes de septiembre a abril, con escasa precipitación, temperatura baja y frecuentes inversiones de masas de aire frío del norte, que pueden ser según su fuerza desde vientos frescos hasta violentos huracanados de hasta 120 km/h (Emery, 1963).

Debido a las drásticas modificaciones durante el invierno, la biota arrecifal se recupera a partir de marzo y alcanza su máximo desarrollo de mayo a julio. La época de lluvias, de mayo a agosto, es un periodo cálido con temperatura elevada, con vientos débiles del Este soplando permanentemente. La precipitación promedio anual es de 1,676.6 mm. Cuenta con 35 días de tormenta, 124 días nublados y 75 soleados al año en promedio. Salinidad de 34.4‰; densidad 1.0257 g/cm<sup>3</sup>; temperatura superficial de 26.0°C y oxígeno disuelto 4.6-5.6 ml/l. La corriente principal se da en verano, va en dirección noreste con velocidad de 0.7 km.; si embargo, puede formarse en cualquier temporada una contracorriente en dirección sur-sureste con velocidad de 0.7 km. (Nowlin 1971 y SECMAR 1974).

El más importante aporte de sedimentos son materiales erosionados del continente transportados por el flujo de los ríos cercanos. El tipo de sedimentos de los arrecifes, que se encuentran frente al puerto, contienen mayor cantidad de materia orgánica y son más finos que los sedimentos de los arrecifes de la parte sur (Hernández y Tinoco, 1986). Existen muchos drenajes naturales que fluyen dentro del Golfo. Tres importantes ríos Antigua, Jamapa y Papaloapan fluyen en la vecindad del SAV. La unión de la cuenca hidrológica

de estos ríos se extienden sobre 30,436.5 Km<sup>2</sup>, donde la precipitación promedio anual es 1,477.6 mm (INEGI, 2003). Misma que genera un escurrimiento de 54 mil km<sup>3</sup>, aunando a la proveniente de los estados vecinos, suma un total de 119 km<sup>3</sup>. La tasa promedio anual de transporte de agua de cada río es: Jamapa 1671 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>, Papaloapan 20000 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup> y la Antigua 2400 x 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>. Esta es una fuente real de sedimentos al SAV. El agua de estos ríos tiene una alta carga de sedimentos, derivadas de tierras erosionadas adyacentes. El material particulado suspendido llega al SAV por medio de las corrientes oceánicas, e incrementan la turbidez de 3-6 m en la capa superficial del mar y la visibilidad puede disminuir de 10-12 m a menos de 1m (PEMEX, 1987; Tunell, 1988). Las aguas de sotavento del arrecife son usualmente más turbias que las aguas de barlovento. Este lado del arrecife es protegido del oleaje y las corrientes oceánicas por el mismo arrecife, lo que favorece la condición del alto tiempo de residencia de sedimentos suspendidos en la columna de agua durante la estación lluviosa. De Junio a Septiembre la cantidad de partículas erosionadas se incrementa y por ende la turbidez del agua alrededor del SAV.

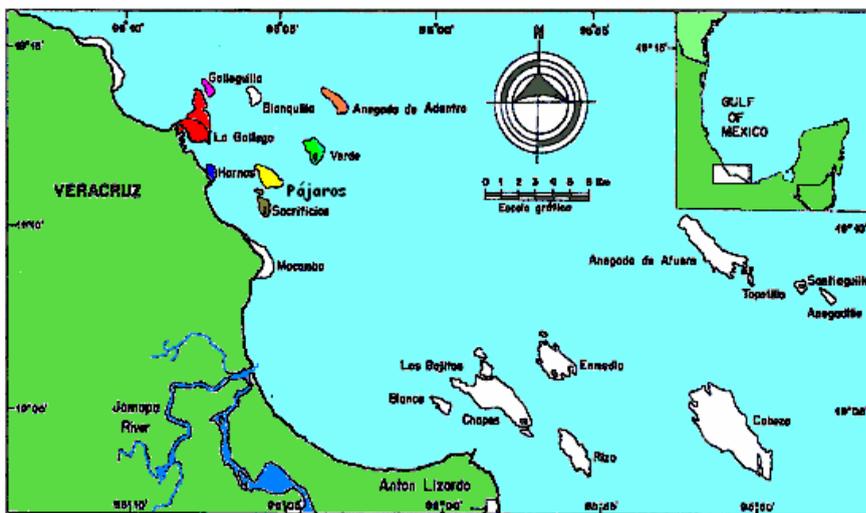


Figura 1. Área de estudio. Sistema Arrecifal Veracruzano.

El SAV se ve influenciado directamente por el régimen de corrientes imperantes en el Golfo de México y los efluentes cercanos (Antigua, Jampa y Papaloapan). Hay dos principales corrientes en la zona: la corriente principal, determinada por la dirección del viento, normalmente tiene dirección NO, y cuando se presentan los vientos del norte su dirección cambia al SE. La otra corriente es la llamada corriente de la “Bocana del Puerto”, que no presenta una relación tan marcada con los vientos y varía en proporción a la influencia de éstos, presentando un comportamiento de “abanico”, es decir, en marzo el 63% de la corriente proveniente de la bocana se dirige al SE y S y el 37% tiene dirección N-NO; en agosto el 54% se dirige al N-NO y NE, el 26% al E y e 18% al SO (Hernández 1982, Vázquez 1983). La costa de la ciudad de Veracruz y zonas adyacentes, presentan características peculiares por su configuración, arrecifes, islas, bajos y topografía de fondo acanalada que influyen en el flujo de sus aguas además de su peculiar clima (Sánchez y Hernández, 1992).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización del presente estudio se consideró trabajar en los ocho arrecifes de plataforma del Grupo Norte del SAV: Hornos, Galleguilla, Gallega, Blanquilla, Anegada de adentro, Verde, Pájaros y Sacrificios. Y con las especies de algas *Halimeda opuntia*, *Halimeda discoidea*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa sertularioides* y *Caulerpa taxifolia*. Lo anterior se decidió mediante un muestreo prospectivo, realizado en los arrecifes mencionados, por medio del cual se logró observar la predominancia de las anteriores especies de algas, además de contar con las características requeridas para su colecta y análisis (biomasa suficiente y abundante, presencia en cualquier época del año y tamaño individual).

### **Trabajo de campo**

La colecta se realizó del 5 al 8 de septiembre del 2000, muestreando un promedio de dos arrecifes por día, con un muestreo al azar localizando las especies de algas con las que se decidió trabajar. En cada uno de dichos arrecifes se llevó a cabo una colecta en forma manual de macroalgas, por medio de buceo libre en la zona de la planicie arrecifal, colectando una cantidad de material suficiente de cada especie, para obtener por lo menos 5g en peso seco de cada una de las siguientes especies: *Halimeda opuntia*, *Halimeda discoidea*, *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa sertularioides* y *Caulerpa taxifolia*. Las algas se colectaron de manera manual, aproximadamente 50g. Las muestras se enjuagaron con agua del medio para eliminar partículas de sedimento principalmente y algunos organismos. Las muestras se introdujeron lo más rápidamente posible a contenedores herméticos con hielo seco. Dichos contenedores se trasladaron al laboratorio de Biogeoquímica de la Unidad de Biotecnología y prototipos de la UNAM campus Iztacala.

### **Trabajo de laboratorio**

Todo material utilizado, tanto en la colecta como en laboratorio, se lavó con agua deionizada y se colocó en HNO<sub>3</sub> al 5% durante 48 h, para eliminar cualquier residuo y material contaminante, y se enjuagó con agua deionizada.

En el laboratorio se colocaron en un congelador a 4°C para su posterior procesamiento. Las muestras se descongelaron y se enjuagaron con agua deionizada eliminando el epífito remanente, cada una se colocó en cajas petri y se secaron en una estufa para laboratorio a 75°C durante 48 h.; fueron maceradas en morteros de porcelana y se colocaron en bolsas de polietileno cerrándolas.

Posteriormente la digestión de muestras, para liberar los elementos metálicos, se llevó a cabo en un horno de microondas. Las muestras de algas se digirieron basándose en la técnica descrita para alfalfa, del manual para el horno de microondas CEM (1996), ya que las algas, desde el punto de vista químico, presentan una matriz similar a la de la alfalfa; sin embargo, se realizaron algunas modificaciones para mejorar la calidad de la digestión (cuadro 2). Se pesaron 0.5 g de muestra directamente en las cubetas de digestión, en una balanza analítica, analizando cada muestra por duplicado. Para la digestión se utilizó ácido nítrico, grado reactivo, en la siguiente relación: 0.5 gramos de muestra - 10ml HNO<sub>3</sub>.

<b>Paso</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
% poder*	90	90	90
PSI libras/cm <sup>2</sup>	40	85	150
Rampa (minutos)	10:00	6:00	10:00
Tiempo (minutos)	3:00	3:00	5:00

**Cuadro 2** Programa de digestión del horno de microondas utilizado para el presente estudio. \*poder requerido para 12 vasos de digestión. (Programa de digestión estandarizado después de varias pruebas tratando de obtener la mejor digestión posible).

Para eliminar los residuos de la fracción no disponible de los sedimentos, las muestras se filtraron con papel Whatmann no. 2. Se aforaron a 25 ml con agua deionizada, se colocaron en frascos de polipropileno y se sellaron hasta su análisis.

De cada especie y por arrecife se realizó la determinación de los metales Fe, Mn, Pb, y Zn por espectrofotometría de absorción atómica; las muestras se analizaron por triplicado y de cada una se realizaron 2 mediciones, las cuales se promediaron y los resultados de cada muestra se compararon entre si, para determinar si existen diferencias significativas entre los diferentes arrecifes.

Las muestras se analizaron a la flama en un Espectrofotómetro de absorción atómica Varian, SpectrAA 800. En todos los casos se utilizaron lámparas de cátodo hueco, específicas para la determinación de cada metal. Para cada uno se realizó una curva de calibración, usando soluciones estándar a partir de una solución patrón certificada de 1000 ppm de cada metal; también se realizaron lecturas de absorbancia de una muestra de concentración conocida, por lo menos diez veces para disminuir el porcentaje de error; se obtuvo el promedio de dicha concentración, se determinó la desviación estándar y se restó al promedio, este representó la reproducibilidad de los datos para cada metal.

### Trabajo de gabinete

Los resultados se calcularon en  $\mu\text{g}$  del metal por gramo de peso seco. Esto se realizó tomando en cuenta las lecturas de absorbancia de cada muestra por duplicado, tomando en cuenta el peso seco de la muestra, el volumen total en que fue disuelta la muestra y la concentración de metal en los blancos.

Se obtuvieron las medias y las desviaciones estándar de cada metal en cada uno de los arrecifes para cada especie.

No se consideró un promedio general para cada metal por arrecife para todas las especies, ya que no todas las especies estuvieron presentes en todos los arrecifes.

La comparación entre arrecifes se realizó por especie y para cada metal, mediante un estadístico no paramétrico Kruskal-Wallis, dado que la mayoría de los datos no se comportaban de manera normal, lo anterior se comprobó por medio de la prueba U- de Chapiro.

Para la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se plantearon como hipótesis las siguientes:

**Hipótesis nula:** La concentración de metales es igual para los arrecifes comparados.

**Hipótesis alterna:** Al menos uno de los arrecifes presenta una concentración significativamente diferente.

$H^*$  H. obtenida por kruskall Wallis

HT H. de tablas

Si  $H^* > HT$  se acepta hipótesis alterna

Si  $H^* < HT$  se acepta hipótesis nula

Cuando se compara a las especies en el arrecife el Verde:

Hipótesis nula: La concentración de metales es igual para las especies comparadas.

Hipótesis alterna: Al menos una de las especies presenta una concentración significativamente diferente.

En los datos en los que se encontraron diferencias significativas, se llevó a cabo un análisis de agrupamiento de distancias euclidianas, graficando y analizando los grupos formados. Las distancias en las gráficas presentadas fueron ajustadas con la fórmula  $(Dlinks/Dmax) \cdot 100$ .

## RESULTADOS

Se determinó la concentración de metales pesados en ppm ( $\mu\text{g/g}$ ) de cinco especies de algas en la planicie arrecifal de ocho arrecifes; en los datos (cuadro 3) se observa que no todas las especies se encontraron en todos los arrecifes, siendo únicamente el Verde donde se logró coleccionar a las cinco especies; en contraste, en el arrecife Hornos sólo se encontró la especie *H. opuntia*, esta misma especie fue la única que está presente en todos los arrecifes. Solo en ella y en *H. discoidea* se obtuvieron datos para Pb.

ALGAS	METAL (mg/g)	ARRECIFES							
		Sacrificios	Isla Verde	Pájaros	Anegada	Galleguilla	Hornos	Blanquilla	Gallega
<i>Halimeda opuntia</i>									
*	<b>Fe</b>	<b>218.32</b>	<b>160.71</b>	<b>242.79</b>	<b>163.31</b>	<b>275.19</b>	<b>342.12</b>	<b>151.91</b>	<b>401.21</b>
	Dest. Est. $\pm$	3.94	8.76	12.13	19.36	34.35	20.59	18.30	12.89
*	<b>Zn</b>	<b>42.12</b>	<b>42.15</b>	<b>32.55</b>	<b>18.19</b>	<b>7.94</b>	<b>9.21</b>	<b>5.64</b>	<b>10.94</b>
	Dest. Est. $\pm$	1.19	1.36	9.26	8.14	0.33	0.25	1.22	2.32
*	<b>Mn</b>	<b>30.11</b>	<b>16.90</b>	<b>35.56</b>	<b>26.01</b>	<b>23.54</b>	<b>37.70</b>	<b>31.23</b>	<b>42.30</b>
	Dest. Est. $\pm$	5.54	2.62	2.26	1.72	1.23	7.79	0.60	2.04
	<b>Pb</b>	<b>57.95</b>	<b>55.71</b>	<b>52.27</b>	<b>58.41</b>	<b>58.08</b>	<b>68.02</b>	<b>55.40</b>	<b>61.05</b>
	Dest. Est. $\pm$	10.39	1.94	5.34	10.10	3.04	2.51	5.93	2.53
<i>Caulerpa cupressoides</i>									
*	<b>Fe</b>	<b>1236.14</b>	<b>520.00</b>	<b>620.68</b>	X	X	X	X	<b>863.46</b>
	Dest. Est. $\pm$	254.98	47.91	35.23					149.72
*	<b>Zn</b>	<b>9.45</b>	<b>6.22</b>	<b>8.12</b>	X	X	X	X	<b>14.96</b>
	Dest. Est. $\pm$	0.44	0.38	0.90					1.83
*	<b>Mn</b>	<b>32.37</b>	<b>88.20</b>	<b>71.07</b>	X	X	X	X	<b>89.55</b>
	Dest. Est. $\pm$	2.76	8.47	1.33					6.44
<i>Caulerpa sertularioides</i>									
*	<b>Fe</b>	<b>834.59</b>	<b>899.57</b>	<b>738.92</b>	X	<b>1364.13</b>	X	X	<b>1191.903</b>
	Dest. Est. $\pm$	78.64	233.66	43.43		150.84			358.54
	<b>Zn</b>	<b>8.84</b>	<b>12.15</b>	<b>8.72</b>	X	<b>13.85</b>	X	X	<b>14.72</b>
	Dest. Est. $\pm$	0.49	2.72	1.24		0.54			4.34
	<b>Mn</b>	<b>62.81</b>	<b>59.27</b>	<b>52.87</b>	X	<b>70.31</b>	X	X	<b>80.77</b>
	Dest. Est. $\pm$	8.84	10.90	1.90		5.66			22.72
<i>Halimeda discoidea</i>									
*	<b>Fe</b>	X	<b>400.98</b>	<b>389.01</b>	<b>329.10</b>	X	X	<b>438.83</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		30.15	12.51	7.77			29.99	
	<b>Zn</b>	X	<b>8.10</b>	<b>9.79</b>	<b>8.91</b>	X	X	<b>9.13</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		0.85	0.68	1.01			0.35	
*	<b>Mn</b>	X	<b>24.24</b>	<b>37.34</b>	<b>38.58</b>	X	X	<b>40.39</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		0.85	3.56	1.57			2.86	
*	<b>Pb</b>	X	<b>65.24</b>	<b>76.20</b>	<b>72.95</b>	X	X	<b>77.51</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		3.43	1.88	2.08			3.40	
<i>Caulerpa racemosa</i>									
*	<b>Fe</b>	X	<b>1232.37</b>	X	<b>708.04</b>	<b>1393.62</b>	X	<b>598.09</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		164.23		59.03	282.12		79.34	
	<b>Zn</b>	X	<b>10.76</b>	X	<b>12.23</b>	<b>13.66</b>	X	<b>9.10</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		1.42		2.19	2.21		0.39	
*	<b>Mn</b>	X	<b>58.08</b>	X	<b>58.56</b>	<b>89.60</b>	X	<b>82.00</b>	X
	Dest. Est. $\pm$		6.93		10.90	20.35		9.85	

**Cuadro 3.** Concentración de metales pesados en algas de la planicie arrecifal de ocho arrecifes del SAVX= especie no presente en el arrecife; \*=grupos en los que existen diferencias significativas.

## ANÁLISIS ENTRE ESPECIES

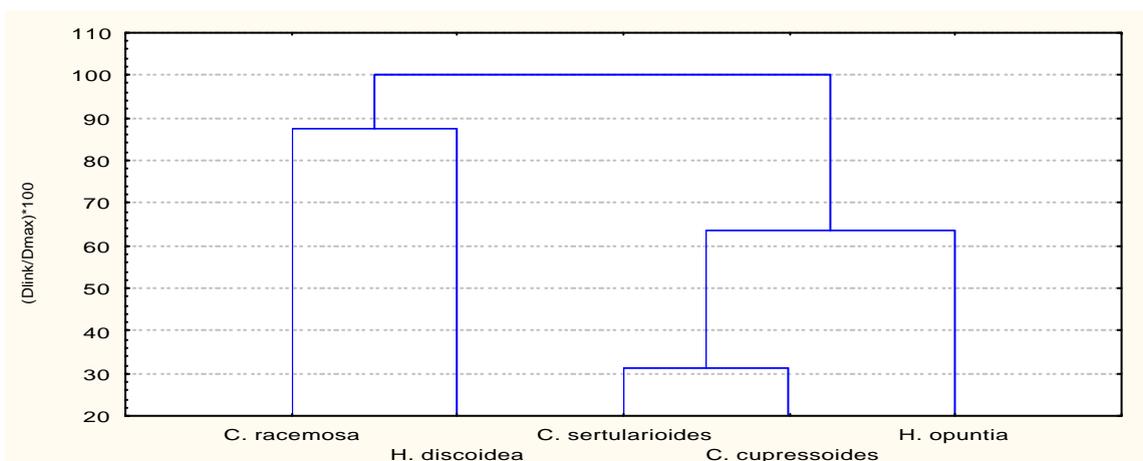
En el análisis comparativo entre las cinco especies de algas se utilizaron las muestras colectadas en el arrecife el Verde, por ser este el único donde se presentan las cinco especies analizadas; se consideró necesario dicho análisis para saber si era o no correcto comparar la concentración de metales entre las diferentes especies. Se observaron diferencias significativas con respecto a la concentración de metal que acumula cada especie, ya que se observa en los datos que cada especie acumula en proporción diferente cada metal (cuadro 4). Las mayores concentraciones de metales pesados se encuentran en: Fe en *C. racemosa*, Zn en *H. opuntia*, Mn en *C. sertularioides* y en Pb no se encontraron diferencias significativas.

Especie	Fe (µg/g)	Zn (µg/g)	Mn (µg/g)	Pb (µg/g)
<i>H. opuntia</i>	160.7	42.2	16.9	58.36
<i>C. cupressoides</i>	520.0	6.2	32.4	
<i>C. sertularioides</i>	899.6	12.1	62.6	
<i>H. discoidea</i>	401.0	8.1	24.2	72.97
<i>C. racemosa</i>	1232.4	10.8	58.1	

H\* 22  
HT 9.488

**Cuadro 4.** Concentración de metales pesados en algas del arrecife Isla Verde.

Comparando así todas las especies de algas considerando Fe, Zn y Mn, encontramos diferencias significativas entre la concentración de metales que acumula cada una de ellas.



**Figura 2.** Análisis de agrupamiento de las concentraciones de metales pesados en las algas del arrecife el Verde.

Dado lo anterior no sería correcto realizar un análisis para buscar diferencias entre las concentraciones de metales para los arrecifes, considerando a las 5 especies como una misma, ya que no todas las especies fueron encontradas en los muestreos en todos los arrecifes; además, se observa en la figura 2 que ni siquiera por tratarse del mismo género la acumulación de metales es similar. Por ello, se decidió comparar a los arrecifes solo dentro de una misma especie, para evitar que las altas concentraciones de una especie enmascaran las menores en otra o viceversa. Se decidió realizar el análisis de Kruskal-Wallis en cada metal y para cada especie por separado, ya que en el análisis de los cuatro metales en conjunto no se encontraron diferencias significativas entre los arrecifes. En adelante se presentan los resultados de cada metal en cada una de las cinco especies.

## RESULTADOS DE HIERRO (Fe) EN LAS ALGAS DE TODOS LOS ARRECIFES

### *Halimeda opuntia*

Comparando al Fe (hierro) en la especie *H. opuntia*, al menos uno los arrecifes es significativamente diferente. Las concentraciones en el arrecife la Gallega son muy diferentes a el Verde o Blanquilla (figura 3).

Las concentraciones más altas de Fe se presentan en el grupo formado por los arrecifes la Gallega y Hornos (figura 3), que son los arrecifes más cercanos a la costa, las concentraciones más bajas se encuentran en el grupo de los arrecifes mas alejados de costa que son; la Blanquilla, Verde y Anegada. En el análisis de agrupamiento (figura 4), se observa también la formación de dichos grupos, además de un grupo intermedio formado por los arrecifes Galleguilla, Pájaros y Sacrificios.

H\* 21.5198  
Ht 14.07

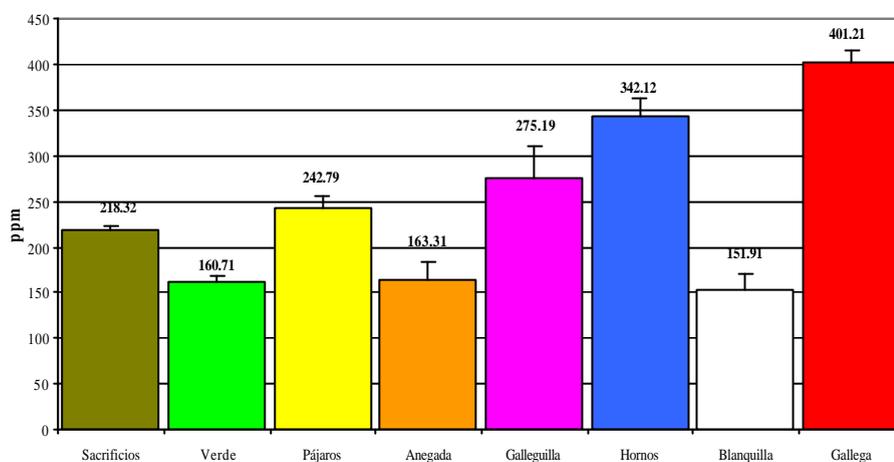


Figura 3. Concentración de Fe en *H. opuntia* en ocho arrecifes del SAV

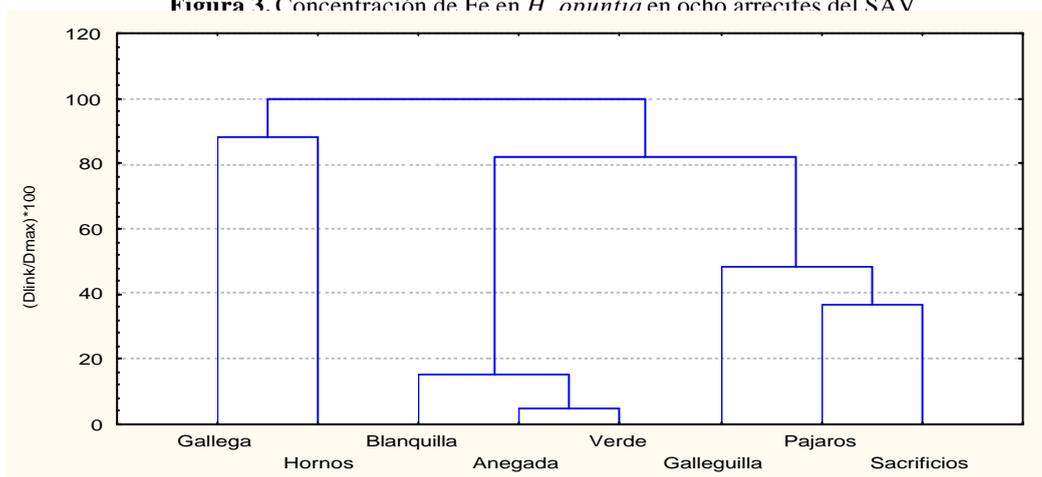


Figura 4. Análisis de agrupamiento de la concentración de Fe en *H. opuntia* en ocho arrecifes del SAV.

### *Caulerpa racemosa*

Comparando la concentración de Fe de *C. racemosa* en 4 arrecifes, se observan diferencias significativas. Las concentraciones de Fe en los arrecifes Verde, Blanquilla y Anegada siguen estando, al igual que en *H. opuntia*, por debajo del arrecife Galleguilla, que es un arrecife muy cercano a la Gallega y a las descargas del puerto (figura 5). En el análisis de agrupamiento (figura 6) Anegada y Blanquilla forma un grupo con las menores concentraciones del metal.

H\* 8.99808  
Ht 7.815

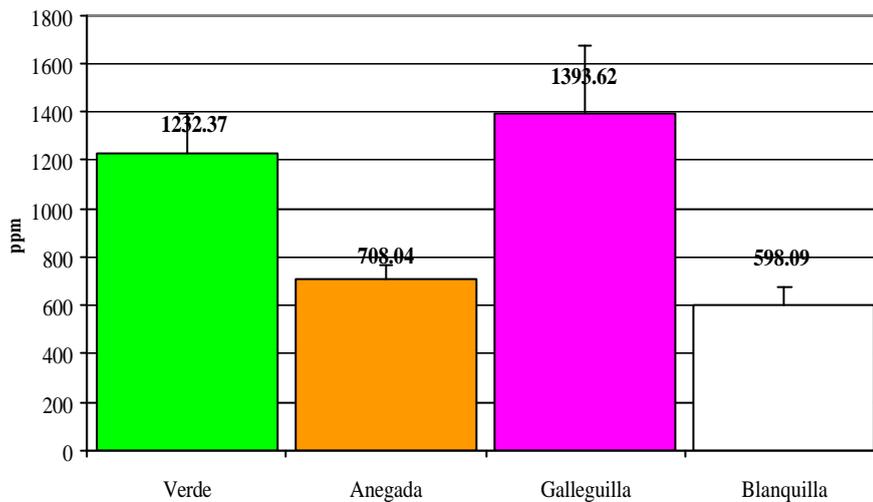


Figura 5. Concentración de Fe en *C. racemosa* en cuatro arrecifes del SAV

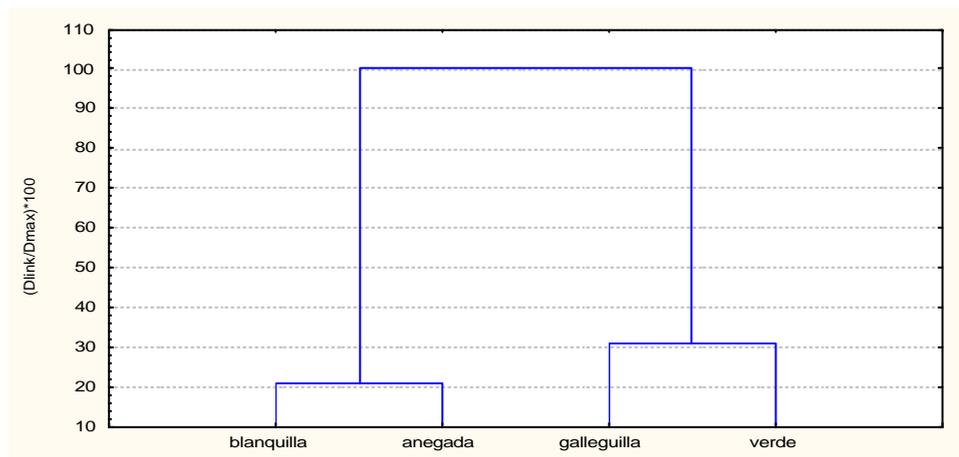
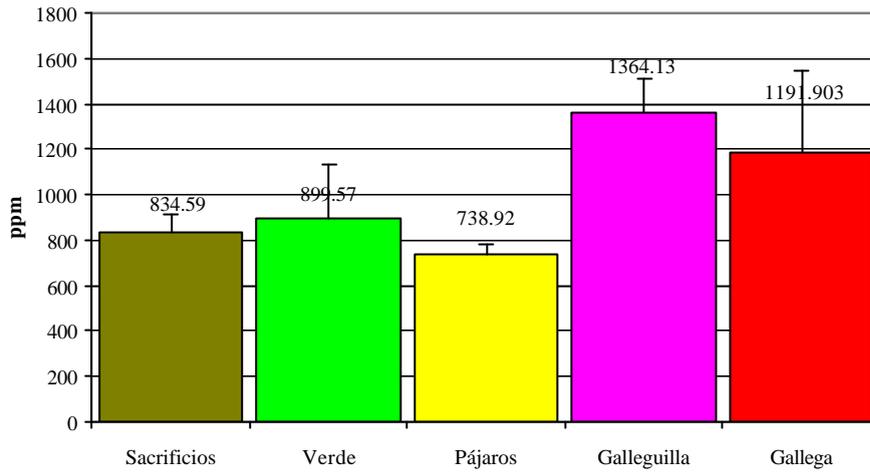


Figura 6. Análisis de agrupamiento de la concentración de Fe en *C. racemosa* en cuatro arrecifes del SAV.

### *Caulerpa sertularioides*

La concentración de Fe en *Caulerpa sertularioides* para los arrecifes Sacrificios, Verde, Pájaros, Galleguilla y Gallega, no observaron diferencias significativas con el análisis, a pesar de ello las concentraciones en Gallega y Galleguilla resultan ser las concentraciones más altas como en las especies anteriores (figura 7).

H*	8.5667
HT	9.488

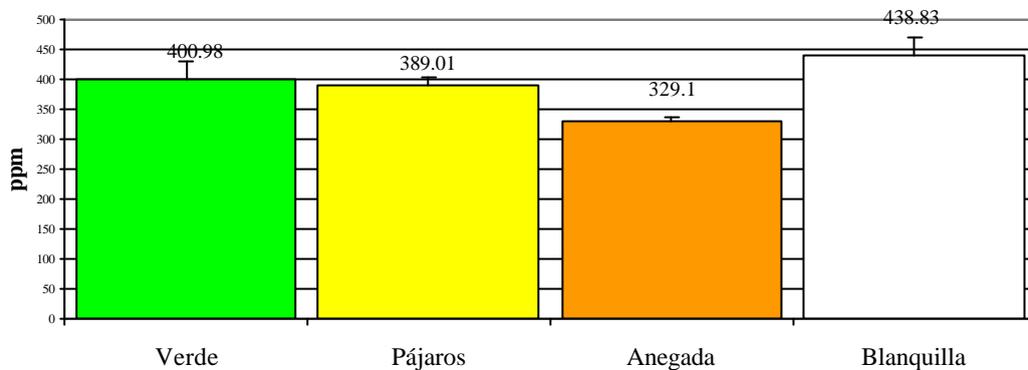


**Figura 7 .** Promedio de las concentración de Fe *C. sertularioides*

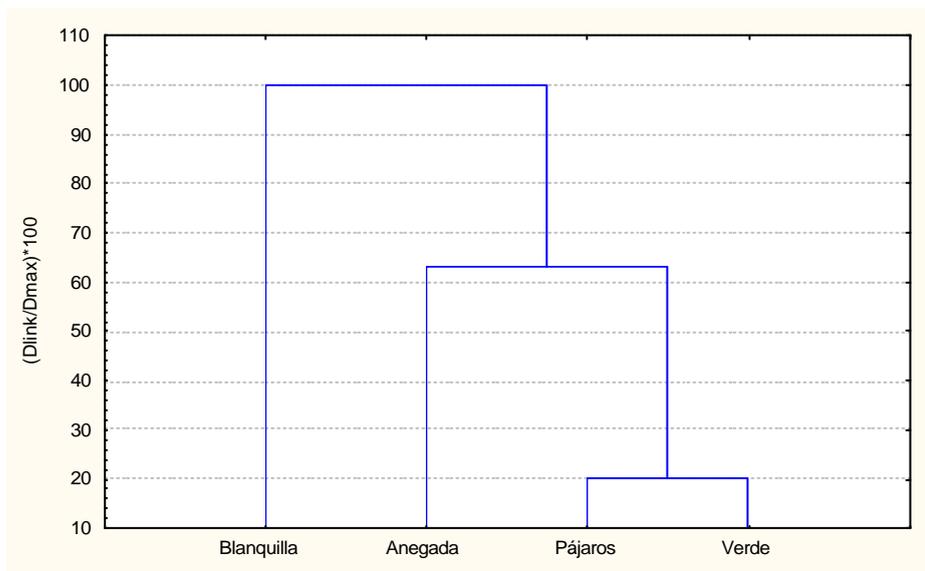
***Halimeda discoidea***

Comparando las concentraciones de Fe para *Halimeda discoidea* en los arrecifes Verde, Pájaros, Anegada y Blanquilla, se observan diferencias significativas, pero solo es posible distinguir que el arrecife que presenta las mas bajas concentraciones del metal es Anegada (figura 8); Isla Verde y Pájaros forman un grupo con concentraciones muy similares (figura 9). Estos arrecifes en las demás especies es donde se presentan las concentraciones mas bajas de Fe por ello tal vez no se observan diferencias notorias entre ellos (figura 8).

H\* 8.2166  
HT 7.815



**Figura 8.** Concentración de Fe *H. discoidea* en cuatro arrecifes del SAV



**Figura 9.** Análisis de agrupamiento de la concentración de Fe en *H. discoidea* cuatro arrecifes del SAV.

### *Caulerpa cupressoides*

Las concentraciones de Fe para *Caulerpa cupressoides* en Sacrificios, Verde, Pájaros y Gallega muestran diferencias significativas, con las concentraciones más bajas en Isla Verde y Pájaros (figura 10), que forman un grupo con concentraciones muy similares (figura 11), separado de los arrecifes la Gallega y Sacrificios que son los que presentan las concentraciones más altas.

H\* 9.974359

Ht 7.815

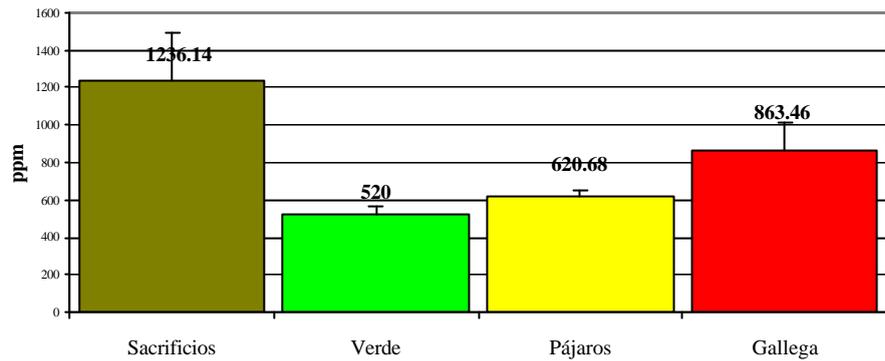


Figura 10. Concentración de Fe *C. cupressoides* en cuatro especies del SAV.

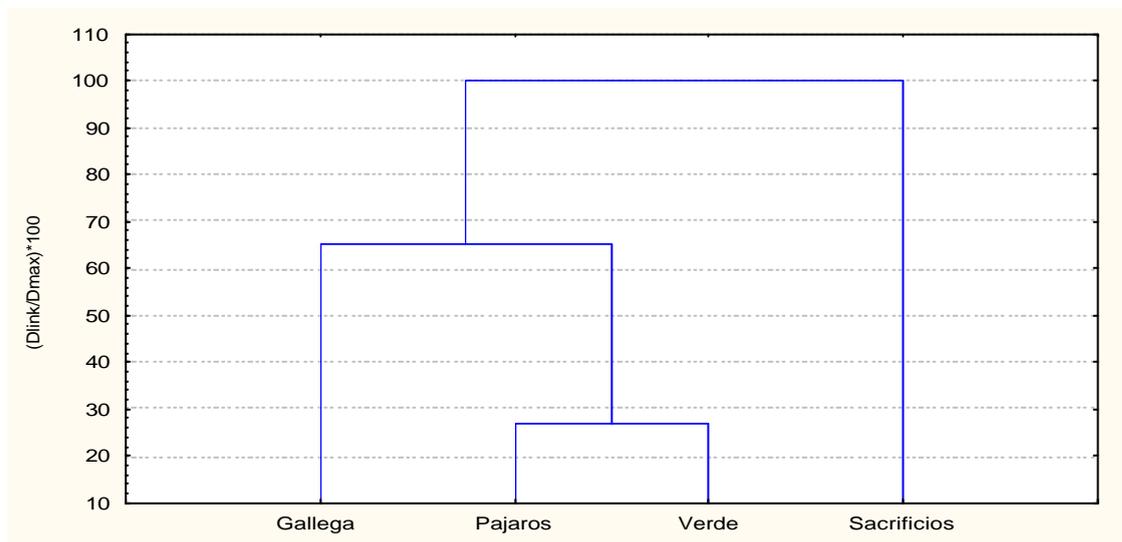


Figura 11. Análisis de agrupamiento de la concentración de Fe en *C. cupressoides*.

## RESULTADOS DE ZINC (Zn) EN LAS ALGAS DE TODOS LOS ARRECIFES

En cuanto a la concentración de Zn, el Verde, Sacrificios y Pájaros son los arrecifes que generalmente presentan mayor concentración del metal, estos arrecifes se encuentran más cercanos a las descargas del efluente de los ríos. Solo en dos especies de algas se encuentran diferencias significativas en las concentraciones para los arrecifes (cuadro 3).

### *Halimeda opuntia*

En las concentraciones de Zn para la especie *H. opuntia* en los ocho arrecifes se observan diferencias significativas entre los arrecifes Sacrificios, Verde y los demás arrecifes. El Verde es el arrecife que presenta una concentración mayor del metal y la Blanquilla el menor (figura 12). El grupo con las concentraciones mas altas está formado por los arrecifes el Verde y Sacrificios (figura 13), le siguen en concentración los arrecifes Pájaros y Anegada. Hornos y Galleguilla forman un grupo con las concentraciones mas bajas.

H\* 21.133  
Ht 14.07

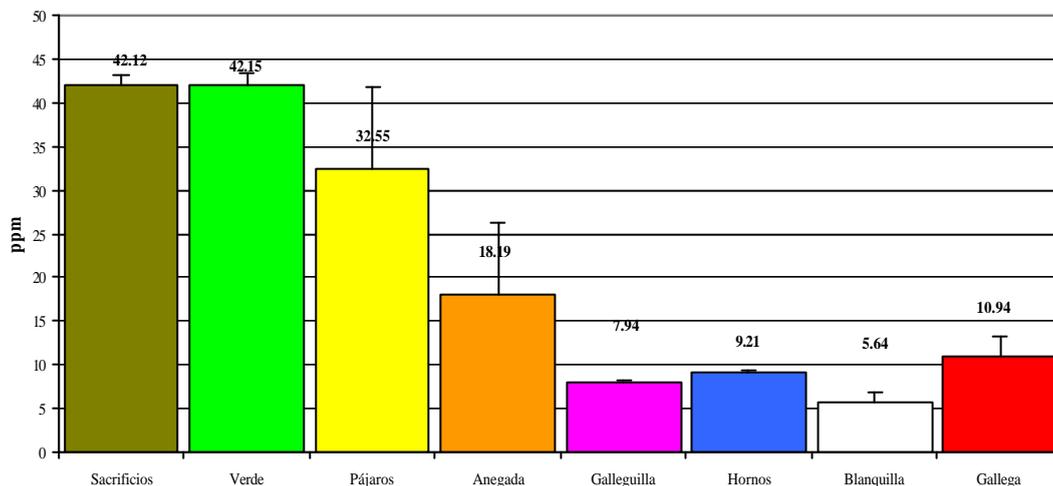


Figura 12. Concentración de Zn en *H. opuntia* en ocho arrecifes del SAV

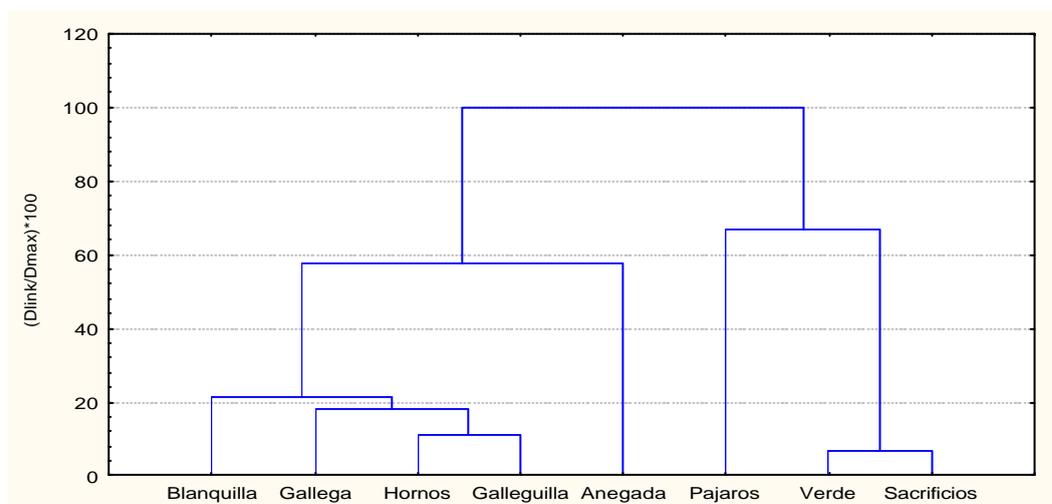


Figura 13. Análisis de agrupamiento de la concentración de Zn en *H. opuntia* en 8 arrecifes.

### *Caulerpa racemosa*

Comparando las concentraciones de Zn en *C. racemosa*, en los arrecifes Isla Verde, Anegada, Galleguilla y Blanquilla, no se observan diferencias significativas entre ellos, aun así en la figura 14 se observa que todas las concentraciones del metal se encuentran en niveles muy similares tomando en cuenta la desviación estándar.

H\* 7.51096  
Ht 7.815

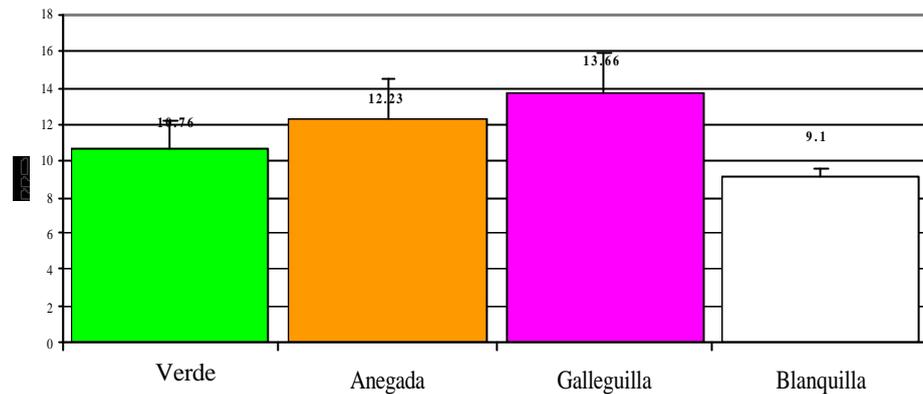


Figura 14. Concentración de Zn en *C. racemosa* en cuatro arrecifes del SAV.

### *Caulerpa sertularioides*

Comparando las concentraciones de Zn para *Caulerpa sertularioides* en Sacrificios, Verde, Pájaros, Galleguilla y Gallega, no se observan diferencias significativas entre los arrecifes; en la figura 15 se observan que las concentraciones del metal son muy similares si se considera la desviación estándar.

H\* 8.7083  
HT 9.488

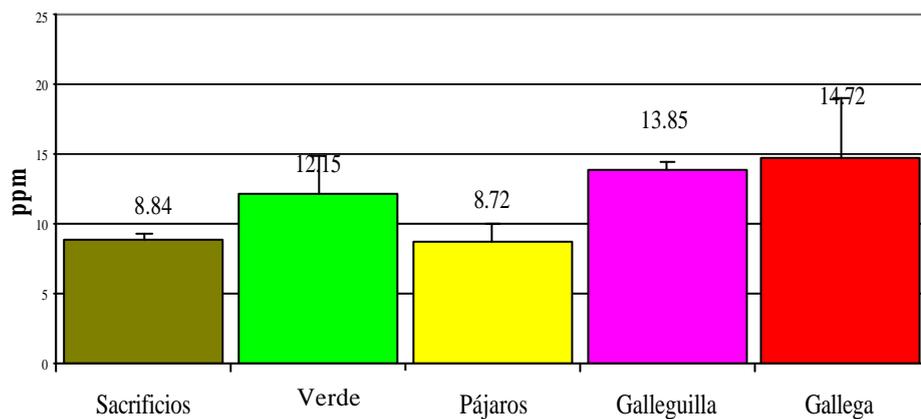
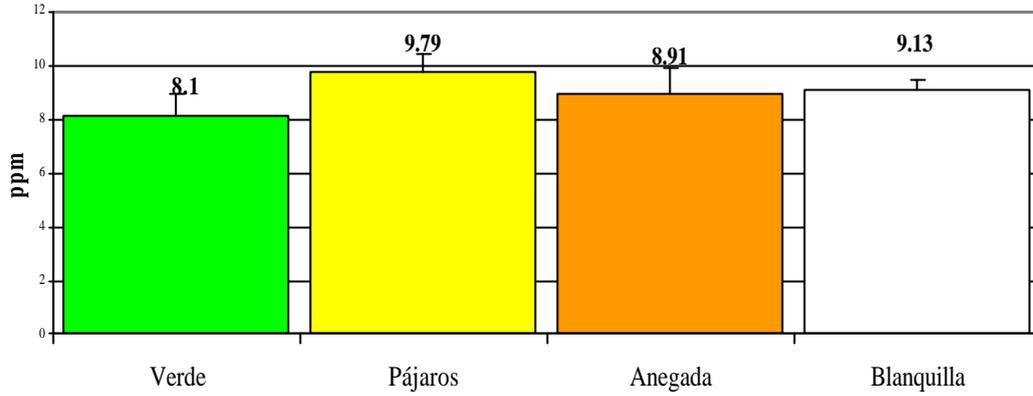


Figura 15. Concentración de Zn en *C. sertularioides* en cinco arrecifes del SAV

***Halimeda discoidea***

Comparando las concentraciones de Zn para *H. discoidea* en Verde, Pájaros, Anegada y Blanquilla no se observan diferencias significativas, todos los arrecifes presentan concentraciones muy similares (figura 16).

H\* 4.9484  
HT 7.815

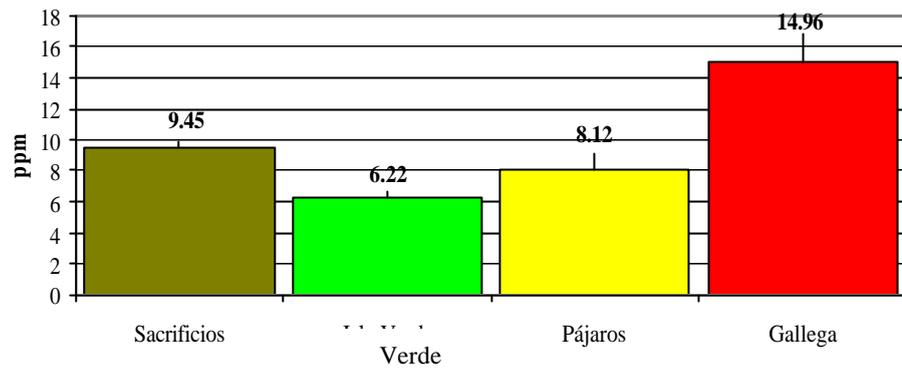


**Figura 16.** Concentración de Zn en *H. discoidea* en cuatro arrecifes del SAV.

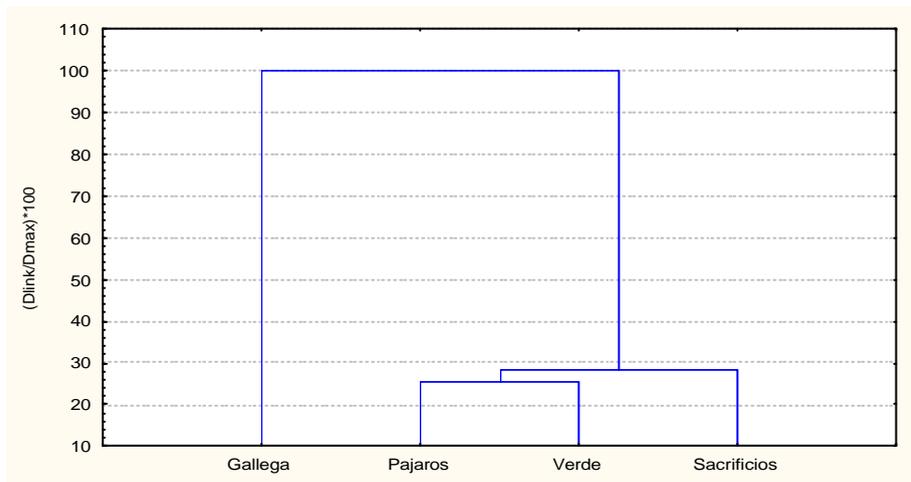
### *Caulerpa cupressoides*

Comparando las concentraciones de Zn para *C. cupressoides* en Sacrificios, Verde, Pájaros y Gallega, encontramos diferencias significativas siendo la Gallega la que presenta una concentración significativamente mayor a los demás (figura 17). El otro grupo está formado por Sacrificios, después de Pájaros y el Verde (figura 18).

H\* 10.384  
Ht 7.815



**Figura 17.** Concentración de Zn en *C. cupressoides* en cuatro arrecifes del SAV.



**Figura 18.** Análisis de agrupamiento de la concentración de Zn de *C. cupressoides* en cuatro arrecifes del SAV.

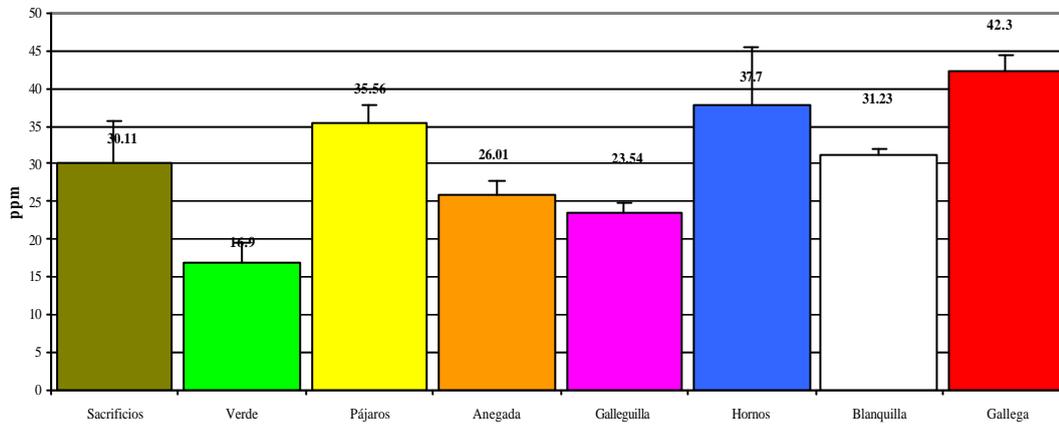
## RESULTADOS DE MANGANESO (Mn) EN LAS ALGAS DE TODOS LOS ARRECIFES

Las concentraciones más altas de Mn se presentan, por lo general, en el arrecife la Gallega, que se localiza cercano a la costa, las concentraciones más bajas se encuentran en Isla Verde y Sacrificios (cuadro 3).

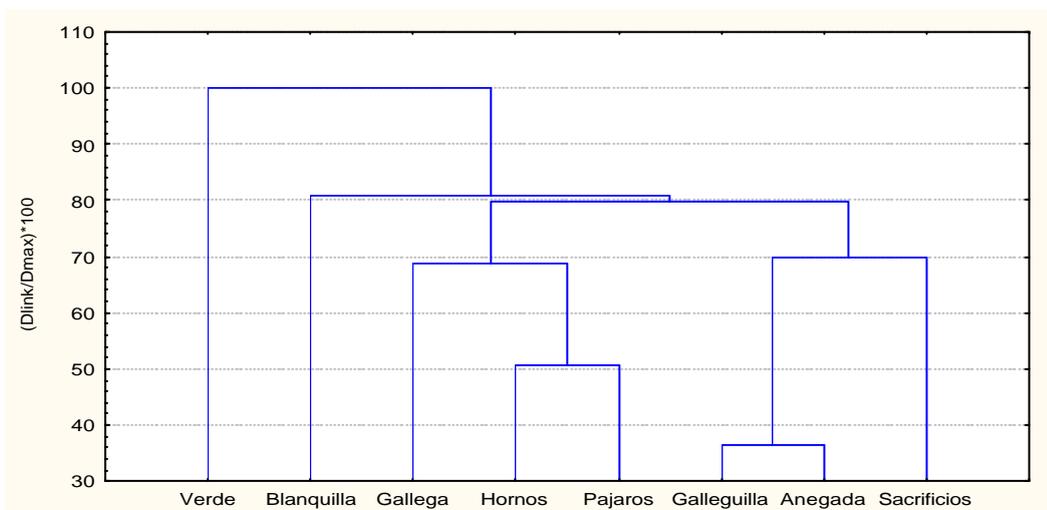
### *Halimeda opuntia*

Existen diferencias significativas entre las concentraciones de Mn de los arrecifes en la especie *Halimeda opuntia*. La Gallega es el arrecife que presenta la mayor concentración del metal (figura 19), le siguen el grupo formado por Hornos y Pájaros con concentraciones menores (figura 20), después el grupo de Blanquilla y Sacrificios, Galleguilla y Anegada siendo el Verde donde se presenta la menor concentración del metal.

H\* 19.3064  
Ht 14.07



**Figura 19.** Concentración de Mn en *H. opuntia* en ocho arrecifes del SAV

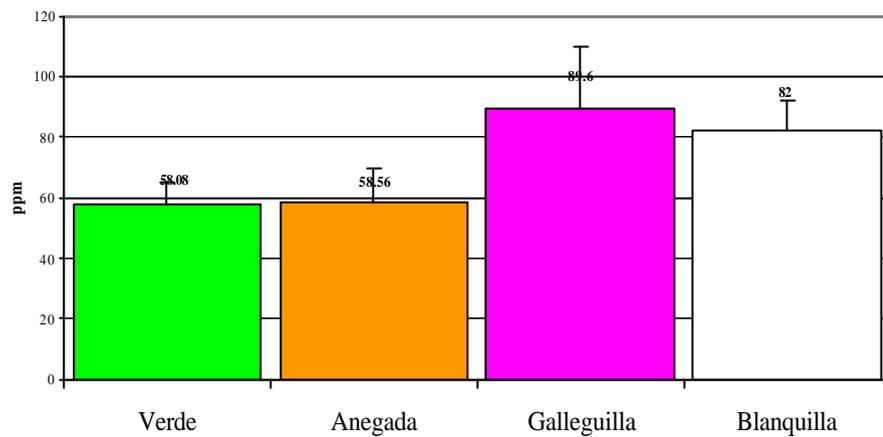


**Figura 20.** Análisis de agrupamiento de la concentración de Mn en *H. opuntia* en ocho arrecifes del SAV

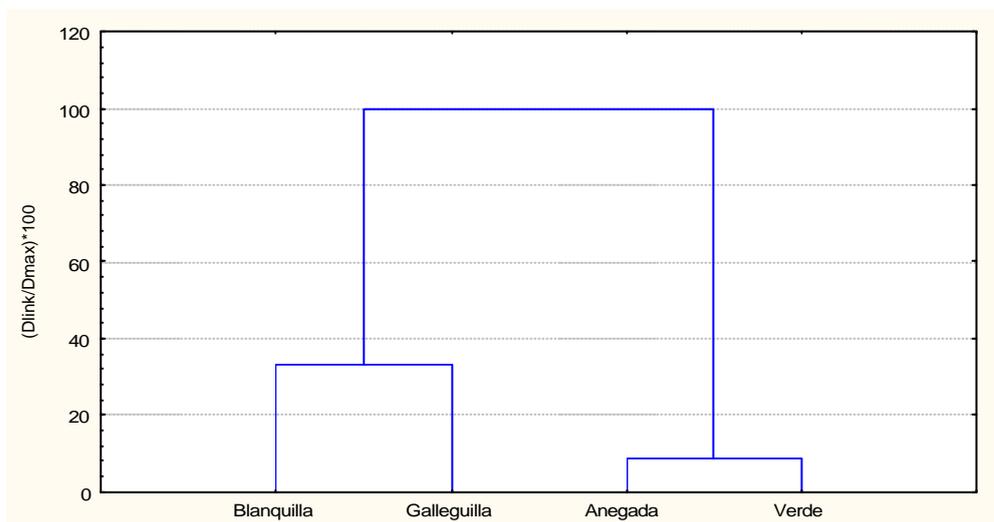
### *Caulerpa racemosa*

Comparando las concentraciones de Mn en los arrecifes Isla Verde, Anegada, Blanquilla y Galleguilla en *Caulerpa racemosa*, se observan diferencias significativas. Galleguilla es el arrecife que presenta la mayor concentración de Mn e Isla Verde la más baja (figura 21). El análisis de agrupamiento (figura 22) agrupa a el Verde y Anegada como un grupo separado del arrecife la Galleguilla y Blanquilla que es el que presenta las mas altas concentraciones.

H\* 8.331  
Ht 7.815



**Figura 21.** Concentración de Mn en *C. racemosa* en cuatro arrecifes del SAV.



**Figura 22.** Análisis de agrupamiento de la concentración de Mn *C. racemosa* en cuatro arrecifes del SAV.

### *Caulerpa sertularioides*

En las concentraciones de Mn para *Caulerpa sertularioides* en Sacrificios, Verde, Pájaros, Galleguilla y Gallega no se observan diferencias significativas. Las concentraciones del metal en la Gallega y Galleguilla se encuentran por encima de las demás (figura 23).

H\* 6.233

HT 9.488

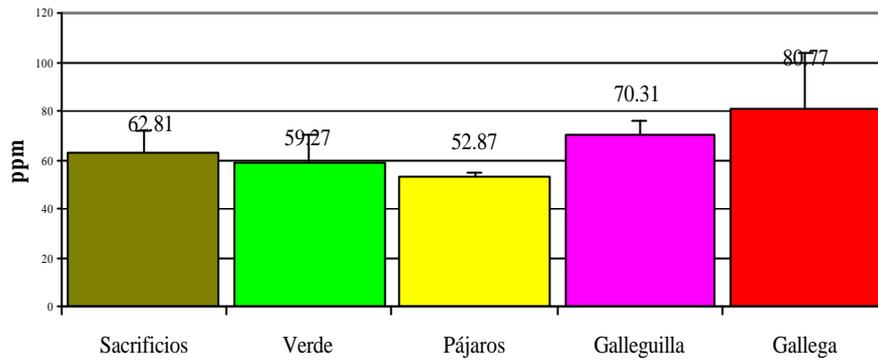


Figura 23. Concentración de Mn *C. sertularioides* en 5 arrecifes del SAV.

### *Halimeda discoidea*

En las concentraciones de Mn para *Halimeda discoidea* en I. Verde, Pájaros, Anegada y Blanquilla no se observan diferencias significativas. Isla Verde es la que presenta la menor concentración del metal (figura 24).

H\* 7.1913

HT 7.815

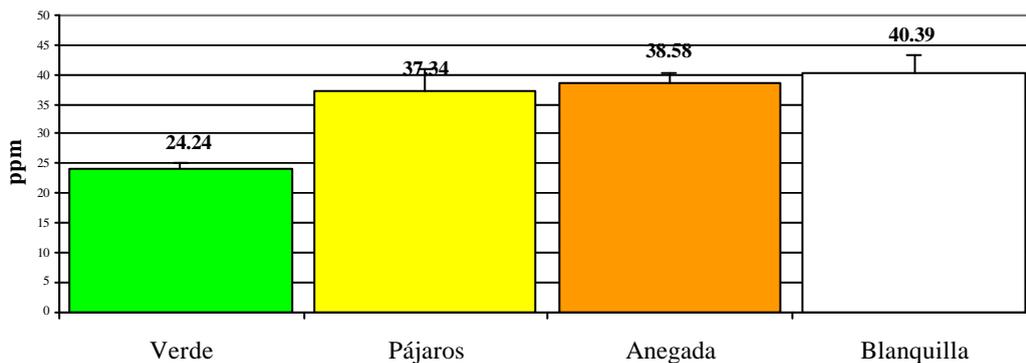


Figura 24. Concentración de Mn en *H. discoidea* en cuatro arrecifes del SAV.

### *Caulerpa cupressoides*

Comparando las concentraciones de Mn para *Caulerpa cupressoides* en Sacrificios, Verde, Pájaros y Gallega se observan diferencias significativas. Aquí tanto Gallega como Isla Verde presentan altas concentraciones del metal (figura 25). Solo el arrecife Sacrificios se separa del resto del grupo como el arrecife con la concentración mas baja (figura 26).

H\* 9.3589  
Ht 7.815

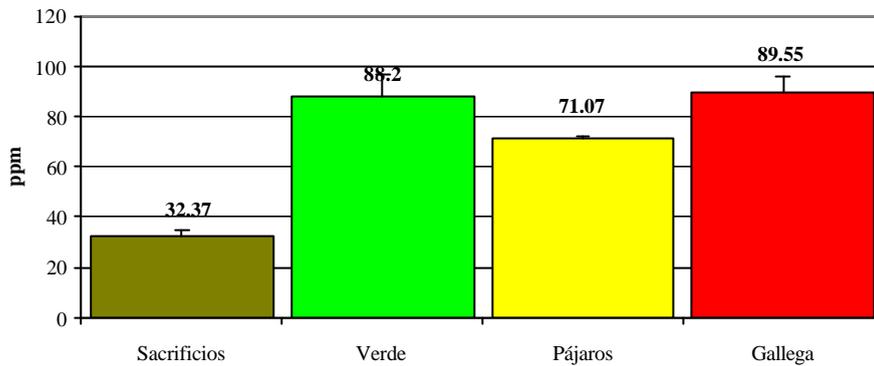


Figura 25. Concentración de Mn en el alga *C. cupressoides* en cuatro arrecifes del SAV.

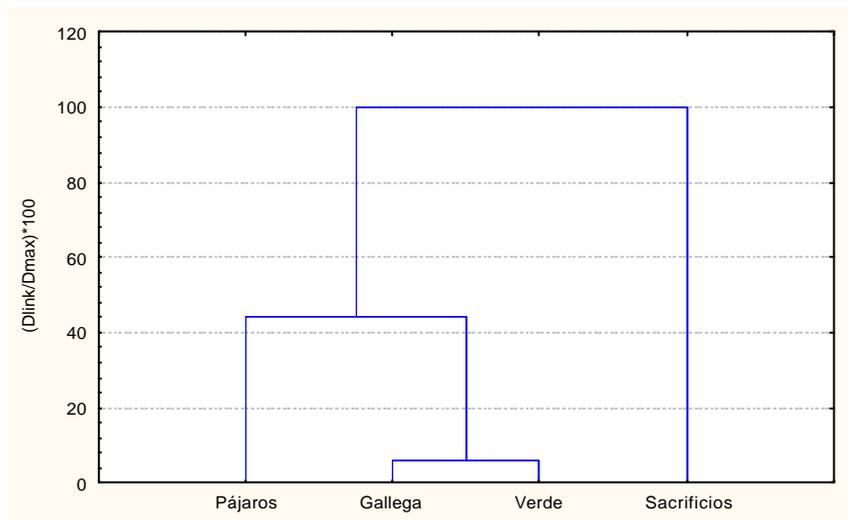


Figura 26. Análisis de agrupamiento de la concentración de Mn *C. cupressoides*.

## RESULTADOS DE PLOMO (Pb) EN LAS ALGAS DE TODOS LOS ARRECIFES

Solamente se lograron obtener determinaciones de Plomo en las dos especies de Halimeda; en *H. opuntia* se cuenta con datos para todos los arrecifes, no así para *H. discoidea*, especie que solo se localizó en la planicie de cuatro arrecifes (cuadro 3).

### *Halimeda opuntia*

En cuanto a las concentraciones de Pb en todos los arrecifes para el alga *Halimeda opuntia*, el análisis no mostró diferencias significativas entre los arrecifes. Encontrándose concentraciones del metal muy similares entre ellos (figura 27).

H\* 10.253

Ht 14.07

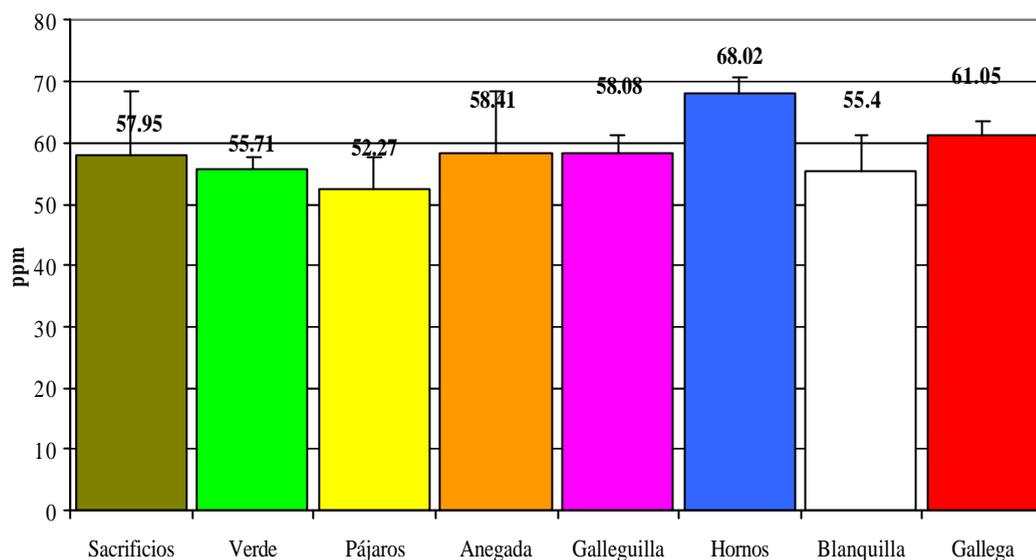


Figura 27. Concentración de Pb *H. opuntia* en ocho arrecifes del SAV

### *Halimeda discoidea*

Comparando las concentraciones de Pb para el alga *Halimeda discoidea* en los arrecifes Verde, Pájaros, Anegada y Blanquilla no se observan diferencias significativas entre los arrecifes. Siendo dichas concentraciones al igual que en *H. discoidea* muy similares entre arrecifes (figura 28).

H\*5.2431

HT7.815

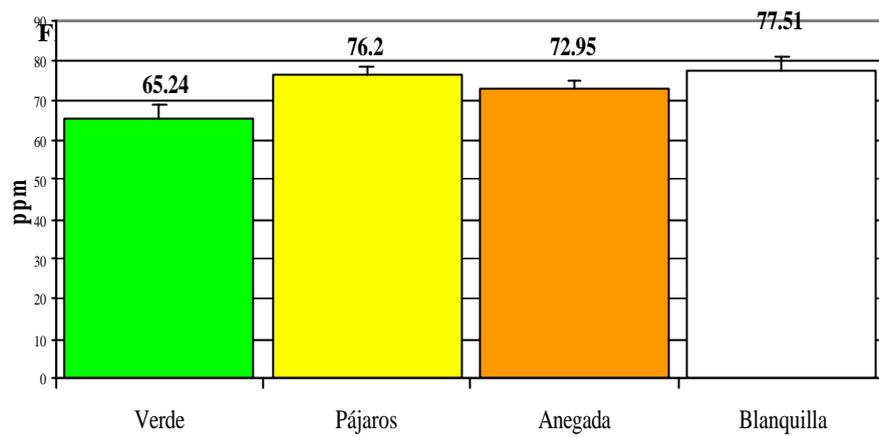


Figura 28. Concentración de Pb *H. discoidea* en ocho arrecifes del SAV

Las especies de algas *C. racemosa* y *C. sertularioides* han sido utilizadas anteriormente como monitores de la calidad ambiental de metales pesados en diversas partes del mundo. En el cuadro 5, se enlistan los trabajos para los cuales se tienen reportadas concentraciones de Fe, Zn, Mn o Pb en estas dos especies de *Caulerpas* y se comparan con las concentraciones obtenidas en el presente estudio. Se observa en general que las concentraciones de metales en el SAV son mayores a las de zonas no contaminadas y similares a las de zonas con problemas de contaminación.

Especie	Fe	Zn	Mn	Pb	Sitio	Referencias
<i>C. racemosa</i>	598.1-1393.6	9.1-13.7	58.1-89.6		Veracruz	Presente estudio
	404.94	2.96		30.65	no contaminadas en Yucatán	Robledo, <i>et al.</i> 1997
	80.3-446.42	84.32-146.29	15.93-97.97		Venezuela [ ] bajas áreas sin perturbación [ ] altas áreas con transito naval	Xiomara et al. 1990
		3.1		<0.67	Gran Barrera, Australia	Denton y Burdon-Jones, 1986
		21.3± 7.2	50.12±12.7	21.9	área no contaminada en Bahía de ribera Brasil	Davée <i>et al.</i> 1982
		9			Atolón, Suvorov, S. O. Pacifico	Khristoforova y Bogdanova, 1980 (citado en Denton y Burdon-Jones 1986)
		16.8-18.5		0.6-0.7	Aguas deTownsville, Australia	Burdon-Jones y Klumpp, 1979 (Citado en Denton y Burdon-Jones, 1986)
<i>C. sertularioides</i>		73		41.1	Penang, Malasia	Sivaligam, 1978
	738.9-1364.1	8.7-14.7	52.9-80.8		Veracruz	Presente estudio
	594.05-1146.54	82.82-258.81	3.86-39.81		Venezuela [ ] bajas áreas sin perturbación [ ] altas áreas con transito naval	Xiomara et al. 1990
			3.86-39.81		Venezuela	Gamboa 1979 (citado en Xiomara et al 1990)
		11.1	74.58	14.9	Goa, India	Agadi, <i>et al.</i> , 1978
	5106.23	71.97	137.08		Malasia	Sivalingam 1978
		6.4-18.5			Goa, India	Zingde <i>et al.</i> , 1979 (citado en Denton y Burdon-Jones 1986)

**Cuadro 5. Estudios realizados con las mismas especies que en el presente trabajo.**

## DISCUSIÓN

Los estudios enlistados en el cuadro 5 y en el anexo III, proporcionan antecedentes de la relación que existe entre las altas concentraciones de metales en las algas y la contaminación del medio; sin embargo, no sería conveniente comparar las concentraciones obtenidas en el presente estudio con las concentraciones reportadas en estudios anteriores, por tratarse de especies diferentes. Guven, *et al.* (1993) mencionan que no se pueden establecer relaciones entre las diferentes especies algales y la captación de metales, lo cual se corrobora en el cuadro 4, donde dichas concentraciones varían en gran proporción de una especie a otra. Por lo cual se compararon exclusivamente las concentraciones entre las mismas especies algales.

Todas las concentraciones de Fe y Zn encontradas en el presente estudio en *C. racemosa* fueron mayores que las obtenidas en esta misma especie en estudios anteriores (Cuadro 5); también son más elevadas a las de zonas no contaminadas en Yucatán (Robledo, *et al.* 1997) y a las de áreas con tránsito naval y perturbaciones en Venezuela (Xiomara, *et al.* 1990). Las concentraciones en *C. sertularioides* se observan también similares o mayores a las reportadas para Venezuela (Xiomara, *et al.* 1990).

En *C. sertularioides* no se encontraron diferencias entre los sitios de muestreo y las concentraciones de metales. Aulio (1983) menciona que al no observarse en las concentraciones de metales en el alga una relación con su hábitat, supone que el organismo es capaz de regular la acumulación de metales; lo que pudiera estar ocurriendo en las especies del SAV, en las que no se encontraron diferencias entre los sitios de muestreo y las concentraciones de metales, sin embargo, se requeriría un estudio específico para corroborarlo.

Las concentraciones altas de Mn en el alga *C. sertularioides*, en el presente estudio, son más altas que las reportadas para áreas no contaminadas en Brasil (Davée, *et al.* 1982) y similares a las encontradas en Venezuela, en áreas perturbadas y con tránsito naval (Xiomara, *et al.* 1990). En *C. racemosa* las concentraciones en el SAV superan las de Brasil, Venezuela y áreas perturbadas en la India; encontrándose en concentraciones menores a las reportadas para Malasia en áreas con un alto grado de perturbación (Xiomara *et al.* 1990; Davée, *et al.* 1982; Gamboa, 1979, citado en Xiomara, *et al.* 1990.; Agadi, *et al.*, 1978; Sivalingam, 1978) (cuadro 4).

Las concentraciones reportadas para *H. tuna* en una zona contaminada de Beirut (Shiber y Shatila, 1979) (anexo III), son el único parámetro de comparación de la concentración de Pb para las especies *H. opuntia* y *discoidea* de nuestro estudio, resultando similares en cuanto a concentración se refiere.

### Limites Máximos permisibles

La SEDUE establece los límites máximos permisibles de metales pesados para aguas costeras de 10.0 µg/l de Zn. Las Normas Oficiales Mexicanas que establecen las especificaciones sanitarias para productos de pesca, la NOM-027-SSA1-1993 Pescados frescos, refrigerados y congelados; la NOM-029-SSA1-1993 Crustáceos frescos, refrigerados y congelados; la NOM-031-SSA1-1993 Moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados; y la NOM-129-SSA1-1995 Moluscos Cefalópodos y Gasterópodos frescos, refrigerados y congelados, contemplan en la sección contaminación

por metales pesados un límite máximo permisible de 1  $\mu\text{g/l}$  de peso seco para Pb. La SEDUE establece los límites máximos permisibles de metales pesados para aguas costeras de 6.0  $\mu\text{g/l}$  de Pb. Tal vez estos parámetros no son comparables con las concentraciones en las macroalgas aquí estudiadas, ya que no son de consumo humano, sin embargo se ha supuesto una bioacumulación del metal relacionada con el aumento de niveles en la cadena trófica (Acosta, 2002; Tovar, 2000).

En cuanto a la toxicidad del Fe para el hombre se ha reportado un incidente de envenenamiento por Fe en África, con un consumo estimado de 100 mg/día por un periodo de muchos años; hay que considerar que la biodisponibilidad del Fe en plantas es menor que en la carne; por lo tanto, el envenenamiento por el consumo de plantas, en este caso de las algas aquí estudiadas, resultaría muy raro. En este estudio el interés particular, en este metal, radica principalmente en el hecho de su aporte terrígeno y como indicadores de contaminación. Las concentraciones encontradas en el SAV de este metal son mayores a las reportadas anteriormente para zonas contaminadas.

### **Diferencias entre los arrecifes**

Se analizan los agrupamientos entre arrecifes con respecto a cada metal por separado, aunque de manera general tienen un patrón semejante, existen algunas discrepancias que se enlistan a continuación.

### **Hierro (Fe)**

Se observa un gradiente de concentración del Fe en la especie *Halimeda opuntia*, que va en aumento conforme se acerca la costa (figura 3), dividiendo a los arrecifes en tres grupos: el primero, conformado por los arrecifes la Gallega y Hornos (figura 4), con las concentraciones más altas, ya que, en dichos arrecifes se descargan directamente los desagües de la ciudad, los de playa norte en la Gallega y los de playa Mocambo en Hornos como mencionan los estudios de Rosas, *et al.* 1983, Hernández y Tinoco 1986, Rosales, *et al.* 1986, Vargas-Hernández 1992, Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996, Horta-Puga en prensa, INEGI, 2003. El segundo grupo está formado por los arrecifes Galleguilla, Pájaros y Sacrificios (figura 4). Galleguilla al igual que Gallega recibe las mismas descargas de playa norte, aunque Galleguilla se encuentra más alejado de la costa. Sacrificios y Pájaros se encuentran frente a los desagües de playa Mocambo, ambos arrecifes se encuentran cercanos al canal de entrada de los barcos a puerto, donde se realizan actividades de dragado, aunado a ello las descargas del río Jamapa acarrear consigo gran cantidad de desechos industriales y agropecuarios desde la región central del estado de Veracruz (Rosas, *et al.* 1983, Hernández y Tinoco 1986, Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996). El tercer grupo lo forman los arrecifes el Verde, Anegada y Blanquilla (figura 4); en ellos se presentan concentraciones bajas del metal, comparándolas con los demás arrecifes. En el arrecife la Blanquilla, se presentan los valores menores de Fe, debido quizá a su lejanía con la costa y al mayor influjo de agua oceánica, en comparación con el influjo de agua costera (Sanchez y Hernandez, 1981). En las demás especies se observa, por lo general el mismo patrón de concentraciones del metal que en *H. opuntia*, aunque no es clara la formación de los grupos, ya que no se cuenta con datos para todos los arrecifes, a pesar de ello se sigue conservando un gradiente con respecto a la costa (figura 5-11).

### **Zinc (Zn)**

Para este metal sólo se encontraron diferencias significativas entre los arrecifes para las especies de algas *H. opuntia* y *C. cupressoides*. Los arrecifes Sacrificios, Verde y Pájaros forman un grupo, situándose la Gallega en otro grupo diferente (figura 13 y 18). Lo contradictorio es que mientras que en *H. opuntia* el grupo de Sacrificios presenta las más altas concentraciones y la Gallega las más bajas, en *C. cupressoides* Gallega presenta las concentraciones más altas (figura 13 y 19).

Se tomo en cuenta *H. opuntia* para el análisis por contar con datos para todos los arrecifes, lo cual resulta más representativo. La alta concentración en la Gallega, en la especie *C. cupressoides*, podría ser evidencia de un derrame ocasional del metal ó, a algún factor intrínseco del alga o de su ambiente.

En ambas especies se encuentran dos grupos diferenciados, el primero formado por la Gallega, Galleguilla y Hornos, y el otro por Sacrificios, Verde y Pájaros. Como para el Fe, la Blanquilla es el arrecife que presenta los valores menores de Zn (figura 12).

Las descargas provenientes del río Jamapa son un vehículo importante de aporte de metales al SAV, lo cual ha sido mencionado anteriormente por Rosas, *et al.*1983, Hernández y Tinoco 1986, Rosales, *et al.* 1986, Vargas-Hernández 1992, Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996, Horta-Puga en prensa, INEGI, 2003. Con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se pensaría que el afluente del Jamapa es el principal aporte de este metal al medio, por las concentraciones mayores de Zn en los arrecifes cercanos a sus descargas, no hay que descartar sin embargo, los desagües de la ciudad que se encuentran más cercanos que el influjo del río y otros factores como la resuspensión de sedimentos, factores que han sido mencionados con anterioridad por Rosas *et al.*1983 , Hernández y Tinoco 1986, Rosales *et al.* 1986, Vargas-Hernández 1992, Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996 Horta-Puga en prensa, e INEGI, 2003.

### **Manganeso (Mn)**

En el arrecife la Gallega se presentaron las más altas concentraciones de Mn, como ya se menciono anteriormente atribuibles a los desagües de la ciudad. En el Verde y Anegada se presentan las concentraciones más bajas (figura 19 y 23), relacionadas con su mayor distancia a la costa.

Los arrecifes Hornos, Pájaros, Sacrificios y Blanquilla también presentan altas concentraciones, aunque menores a la Gallega (figura 19, 21, 24 y 25).

Considerando la cercanía con la costa como el principal factor de aumento de la concentración del metal, no se explicarían las altas concentraciones en los arrecifes Pájaros y Blanquilla, teniéndose que tomar en cuenta otros factores como la resuspensión de sedimentos que se favorecería por las zonas de mezcla entre las corrientes oceánica y costera presentes en estos arrecifes. Para los arrecifes Pájaros y Sacrificios, no se descarta la influencia del desagüe de la ciudad en playa Mocambo y en menor proporción las descargas del río Jamapa.

### **Plomo (Pb)**

Al no encontrarse diferencias significativas en las especies *H. opuntia* y *H. discoidea*, para todos los arrecifes, suponemos que la distribución de dicho metal se presento de manera homogénea en el área, dada la circulación de las principales corrientes de la zona (ver área de estudio), ya que, el patrón de dispersión que pueden tener los metales en el medio

acuático depende primordialmente de las corrientes locales (Mandelli, 1979). O tal vez, las algas de este género, de alguna manera pueden regular la concentración del metal (Aulio *et al.*, 1983). Davee, en 1982 menciona que las algas con fuerte impregnación de  $\text{CaCO}_3$  aumenta su superficie de adsorción y por lo tanto presentan mayor concentración de metales, este es el caso del las algas del género *Halimeda*, lo cual tal vez nos permitió encontrar solo en estas especies concentraciones detectables del metal. En estudios anteriores en el SAV con macroalgas, al igual que en nuestro estudio la concentraciones de Pb no presentan diferencias significativas entre arrecifes (Acosta, 2002; Tovar, 2000).

Se podría considerar entonces otro origen del metal, como los influjos atmosféricos originado por las industrias locales, como mencionan Karez, *et al.* (1994), quienes encuentran al Pb fuertemente unido a los sedimentos o materiales particulados lo que limita su biodisponibilidad. Lo anterior es corroborado por Baez, *et al.* (1980) y Albert y Badillo (1991), quienes han encontrado niveles de hasta 179.7  $\mu\text{g/l}$  de Pb en agua de lluvia en el puerto de Veracruz, un nivel alto, solo por debajo de los que se presentan en la ciudad de México y lo atribuyen a las actividades portuarias. Los valores en el puerto de Veracruz son mucho más altos que los de estados Unidos y Gran Bretaña, por lo cual se le considera a esta un vehículo muy importante de transporte de metales al medio arrecifal, mas con una precipitación pluvial de 1676.6 mm/año (Luna-Bauza, 1993), dicha precipitación no solo acarrea consigo al plomo sino todos los residuos producto de lavado de la ciudad y del campo el cual aporta una gran concentración de Fe, Zn y Mn producto de los fertilizantes, plaguicidas y desechos domésticos.

Resumiendo lo anterior, se observa un gradiente de concentraciones de los metales analizados como sigue:

Gallega, Hornos > Galleguilla, Sacrificios, Pájaros > Blanquilla, Anegada, Verde.

### **Factor distancia hacia la costa**

En estudios anteriores en el SAV, los arrecifes la Gallega y Hornos han sido considerados al igual que en el presente estudio, los que presentaron las concentraciones más altas de metales en la zona y coinciden con la menor concentración de metales en el arrecife el Verde (Tovar, 2000; Noriega, 2001 y Acosta, 2002). Se ha mencionado que los metales pueden ser introducidos al medio marino por medio de las corrientes propias de la bocana del puerto (Hernández, 1982) y dispersados a los arrecifes ubicados frente a este, afectando de cierta manera más al arrecife la Gallega, ya que se transporta una masa de agua considerable al norte a través de la corriente principal (Vazquez, 1980).

Sobre la Gallega se descargan las aguas de la planta de tratamiento en playa norte, al igual que las otras 57 plantas de tratamiento de aguas municipales y residuales que operan en el estado de Veracruz, solo se trata el 20% de la capacidad total instalada, solo el 8% de las aguas tratadas cumplen con las Condiciones Particulares de Descarga (CPD), lo demás, es vertido tal cual al drenaje (Lombardo, 2003), en el caso particular del SAV va a dar directamente al mar, sobre los arrecifes, donde las descargas industriales y domésticas se incrementan conforme aumenta la población y por ende las necesidades de la ciudad de Veracruz (población total del municipio de Veracruz 457, 377 hbs. con tasa media de crecimiento anual de 3.39 % (INEGI, 2003)) la captación de metales por las algas también se incrementaría con el tiempo.

Además de las aguas de la planta de tratamiento en playa norte, el desagüe local de desechos domésticos, industriales y de la zona hotelera ubicada frente al puerto, descarga n

directamente sus aguas de desecho al mar, llevando junto con otros contaminantes grandes cantidades de materia orgánica (Horta-Puga y Ramírez-Palacios 1996; Gonzáles-Fierro *et al* 1994; Vargas-Hernández 1993; Hernández y Tinoco, 1986, Rosales, *et al.* 1986; Rosas *et al.*, 1983; Horta-Puga in pres.).

Cerca de los arrecifes Gallega y Hornos se ha registrado los porcentajes mas bajos de oxígeno, con un porcentaje de saturación de 87% y 99% respectivamente, por la gran cantidad de materia orgánica procedente de la planta de tratamiento (Sánchez y Hernández, 1992), lo que aumentaría la disponibilidad de los metales para los organismos, dada la facilidad de los metales de formar complejos con la materia orgánica y fijarse en el tejido (Gonzáles-Fierro, *et al.* 1994), en lo cual la acción bacteriana tienen un importante papel en la movilización de metales tóxicos en el medio acuático

La relación entre descargas de desechos domésticos y descargas residuales con las altas concentraciones de metales, entre ellos Fe, Zn, Pb y Mn ha sido reportada anteriormente en diversas parte del mundo por Buo-Olayan y Subrahmanyam, (1996), Haritonidis y Malea, (1979) y Shiber y Shatila, (1978).

El arrecife la blanquilla se caracteriza por masas de agua de origen oceánico y costero que produce dos zonas de mezcla, lo cual puede favorecer la turbulencia y la resuspensión de los metales en el medio; sin embargo, la mayor influencia de agua oceánica puede favorecer la dilución de las aguas provenientes de la ciudad y por ello, al analizar las algas en dicho arrecife, se encuentran concentraciones de metales menores en comparación con los demás arrecifes.

En el arrecife el Verde, las masas de agua en la primera mitad del año son oceánicas de sureste a noreste, de junio a septiembre aguas costeras y a fin de año aguas oceánicas. La influencia de agua oceánica puede favorecer la dilución de los metales provenientes de aguas costeras, en especial de las aguas de la bocana del puerto y ocasionar las bajas concentraciones de algunos metales, como Fe y Mn; sin embargo, para el Zn se presentan las más altas concentraciones en este arrecife junto con Sacrificios, debido tal vez a su cercanía con el Jamapa y al desagüe en playa Mocambo.

### **Factor Río Jamapa**

El régimen de corrientes imperantes en el Golfo de México pueden acarrear diversos contaminantes al SAV provenientes de regiones tan alejadas como el Banco de Campeche. Los efluentes cercanos (Antigua, Jamapa y Papaloapan), traen consigo desechos industriales y agropecuarios de la región central del estado de Veracruz (en la región Golfo centro, el uso agrícola representa el 46%, uso urbano el 16%, uso industrial 37% y otros usos el 1% (INEGI, 2003)) y arrastran grandes cantidades de sedimento y posiblemente de metales que son transportados por las corrientes hacia los arrecifes. Los residuos del campo (fertilizantes y plaguicidas) aportan gran cantidad de Fe, Mn y Zn al medio (Vazquez-Botello, *et. al.* 1996).

Los sedimentos transportados por los ríos pasan a formar parte del nuevo sedimento en los arrecifes, del cual toman nutrientes diversos organismos (Horta-Puga en prensa), entre ellos las algas. Sanchiz, *et al.* (2000) observan que las macrofitas de fondos blandos son capaces de absorber nutrientes y metales pesados de los sedimentos y traslocarlos a diferentes partes de la planta. Siendo las algas colectadas en fondo suave las que concentran metales en una proporción mayor que las de fondos rocosos (Aulio, 1983). Exceptuando a las especies del género *Halimeda* que pueden crecer tanto en fondos rocosos o arenosos, las

demás especies se colectaron en fondo suave y fueron las que presentaron mayor concentración de Fe y Mn.

El empleo de detergentes también provoca riesgos de contaminación por metales, ya que la mayoría de ellos contienen cantidades importantes de hierro, manganeso y zinc.

Entre las industrias que vierten sus desechos a las costas Veracruzanas y en las cuales se incluyen los metales analizados en este estudio destacan: productos alimenticios, ingenios azucareros, bebidas, tabaco, textiles, prendas de vestir e industria del cuero, maderera, papelera, imprentas, sustancias químicas, productos derivados del petróleo y del carbón, hule y plástico, productos minerales no metálicos, metálicas básicas, productos metálicos, maquinaria y equipo (INEGI, 2003, Vazquez-Botello, *et. al.* 1996). Algunas de ellas son; Metales de Veracruz, Muelle de PEMEX, Astilleros de Veracruz, Empacadora de alimentos (Herdez), Papelera (Kimberly Klarck, Papelera Veracruzana), Textil (Civsa, Cidosa, Textil Cocolpam, Textil San Lorenzo), Cervecera (Moctezuma, Cuahutemoc), Química (Proquina, Cia. Mexicana de Alcaloides, Industrias Orizaba) y de Calzado (Tenería, Co., Tenerías Unidas, Tenerías Segura y Ferrer, Tenería Trueba), todas estas industrias, por su giro, descargan a las costas de Veracruz sus aguas residuales que podrían aportar algunos de los metales analizados en este estudio (Horta-Puga y Ramírez-Palacios, 1996; González-Fierro, *et al* 1994; Vargas-Hernández, 1993; SecMar, 1988; Hernández y Tinoco, 1986, Rosales, *et al.* 1986; Rosas, *et al.*, 1983; Horta-Puga in pres.), por lo que se podrían relacionar con las altas concentraciones de ciertos metales en las algas analizadas.

Lo anterior se ve soportado por estudios anteriores en regiones del mundo con actividades agrícolas, pesqueras, además de industrias como petroquímica y refinerías, manufactureras de metal y acero, fertilizantes, desalinización y plantas de energía térmica, curtidurías, y desechos municipales. Donde se han obtenido altas concentraciones de los metales analizados en el presente estudio, en especies de algas colectadas en dichas regiones (Haritonidis y Malea, 1997; Phillips, 1991, Shiber y Shatila, 1978).

Se considera que en la temporada en la que se realizó la colecta, el sistema estaba influenciado ampliamente por las aguas de los ríos, ya que hay reportes de una masa de agua costera que se presenta en mayo, junio, septiembre y octubre que es el resultado de la dilución del agua oceánica con las aguas de los ríos; otra masa se presenta en julio y agosto (en época de lluvias) con fuerte influencia de agua dulce de los ríos Jamapa y la Antigua (Sánchez y Hernández, 1992). Por ello al encontrar altas concentraciones de Zn en los arrecifes Pájaros, Sacrificios y el Verde cercanos a las descargas del Jamapa, se considera dicho afluente como un factor importante, no el principal como ya se menciona anteriormente dada su distancia con las plataformas arrecifales, no podemos descartar las aguas de los drenajes de la ciudad que por las corrientes imperantes en el área se dispersan por todo el sistema (Vázquez, 1983; Hernández, 1982).

### **Factor resuspensión**

El cambio de dirección NO-SE de la corriente principal, provoca una gran remoción de sedimentos en la zona, además los fenómenos meteorológicos conocidos como “nortes” y las actividades de dragado del canal de entrada del puerto resuspenden importantes cantidades de dichos sedimentos, removiendo metales, haciéndolos disponibles para la biota (Horta-Puga en prensa), sedimentos a los que se encuentran sujetas las algas y de los cuales toman sus nutrientes, lo mismo que de las aguas circundantes. Se han atribuido altas concentraciones de metales en algas, particularmente de Zn a zonas donde se realiza dragado (Bohn, 1979), esta actividad es importante en la zona portuaria de Veracruz, que

continuamente se esta dragando por la entrada de los barcos a puerto y se podría relacionar con las altas concentraciones de metales en la Gallega. Los sedimentos mas finos en el SAV tienen su origen en los ríos y a ellos se adhieren en mayor proporción los metales (Sánchez y Hernández, 1992).

### **Factores de absorción de las algas**

Dentro de los factores que pueden influir en la biodisponibilidad de los metales analizados en las algas, se encuentran algunos parámetros fisicoquímicos como salinidad, pH, temperatura, intensidad de luz, complejos de nutrientes-metal en el agua de mar, concentración de metales en el medio y su biodisponibilidad, el movimiento del agua y el reciclamiento de los elementos minerales (Jordanova, 1999; Sanchiz, *et al.*, 1999; Buo-Olayan y Subrahmanyam, 1996; Robledo, *et al.*, 1997; Karez, *et al.*, 1994; Olmos, 1992; Phillips, 1990; Xiomara *et al.* 1990; Rice y Lapointe, 1981. Se piensa que el factor pH puede afectar la actividad de los metales en ambiente acuático (Shiber y Shatila, 1978), ya que la mayoría de los metales se encuentran insolubles al pH del agua de mar lo que tal vez afecte el comportamiento del metal en las costas de Veracruz, debido a que los metales podría precipitar antes de alcanzar los arrecifes, siendo el factor resuspensión el mas importante para la distribución de los metales en el medio.

Los parámetros biológicos son importantes factores que regulan la captación de metales por las algas de diferentes especies y aun de la misma especie en distintas localidades, dichos parámetros han sido reportados anteriormente, entre los mas importantes se encuentran: el estado de desarrollo del alga, ciclo reproductivo, materia orgánica, contenido de nitrógeno que controla la acumulación de Fe y Zn, la capacidad de cada especie de acumular metal en particular y la influencia de cada medio ambiente. Se ha resaltado en varios estudios el efecto de la estación y la profundidad. Buo-Olayan y Subrahmanyam, 1996; Buo-Olayan y Subrahmanyam, 1996; Hudnik, 1991; Bryan, 1969; Black y Mitchell, 1952; y Gamboa 1979 Rice y Laponte (1981) Gnassia-Barelli (1995) Haritonidis y Malea (1997).

Los largos periodos de lluvia y materia orgánica suspendida representan uno de los principales parámetros que afectan la biodisponibilidad de los metales debido a los altos influjos pluviales que se encuentran asociados con patrones de circulación en zonas afectada por actividades industriales, además del volumen y la posible estacionalidad de los desechos (Karez, *et al.* 1994; Shiber, 1979). Además los largos periodos de lluvia se han relacionado con la resuspensión de algunos metales, entre ellos Fe, Mn y Zn que se encontraban atrapados en los sedimentos (Wong *et al.* (1979). Se ha sugerido que los metales pueden entrar al medio acuático vía agua de lluvia por el lavado del suelo o de la ciudad y de la atmósfera, aguas que al final llegan al mar por el sistema de drenaje de la ciudad (Sanchiz, *et al.* 2000) como sucede en el SAV.

Se sabe que una de las principales actividades la ciudad de Veracruz, es la actividad portuaria, con la cual se han relacionado en algunos estudios anteriores, la disminución de las condiciones bioecológicas, de los diferentes medios de deposición de macroalgas; principalmente por el influjo de la circunnavegación de buques, tanques cargueros, transbordadores, etc., y aportes de desechos industriales y residuales del puerto, a los que se le han atribuido las altas concentraciones de Zn (Black y Mitchell, 1952). Los arrecifes cercanos tanto al canal de entrada de los barcos a puerto (Sacrificios, Pájaros y el Verde), como los cercanos al área de atracadero (Gallega) son los que presentan en el SAV, las mayores concentraciones del metal.

Se podrían separar entonces 3 grupos de arrecifes considerando no tanto la concentración de metales, como la influencia de los descargas de aguas que reciben. El grupo de los arrecifes cercanos a la costa; Gallega y Hornos, el grupo de los arrecifes que reciben directamente las descargas del río Jamapa; Sacrificios y Pájaros y otro grupo cuya influencia es mayormente marina, lo que diluye las altas concentraciones que podrían provenir de las descargas de los ríos, de la ciudad o de la resuspensión de sedimentos.

## CONCLUSIONES

- Las concentraciones de metales, en las especies colectadas en el SAV, son por lo general igual o mayores a las concentraciones en especies reportadas para áreas contaminadas.
- El Plomo fue el único metal para el que no se obtuvieron diferencias entre los diferentes arrecifes.
- La Gallega es el arrecife que con mayor frecuencia presenta las concentraciones más altas de metales de Fe y Mn en las especies de algas.
- El arrecife el Verde, seguido por la Blanquilla, es donde se presentan las menores concentraciones de Fe y Mn en las especies de algas, encontrándose en los demás arrecifes concentraciones intermedias.
- Sacrificios, Pájaros e Isla Verde son los arrecifes que presentan las más altas concentraciones de Zn.
- El aporte de Zn en los arrecifes Sacrificios, Pájaros y el Verde, podría atribuirse principalmente al influjo de los ríos
- Cada metal tiene un intervalo de concentración diferente dependiendo de la especie algal.
- Dado que el Zn, Mn y Fe pueden ser atribuidos principalmente a influjos domésticos, industriales y a aportes terrígenos, podríamos suponer que las actividades de la ciudad son las que principalmente afectan a los arrecifes del SAV.
- Los altos niveles de metales pesados en las algas, revelan la alta biodisponibilidad de metales en el ambiente.
- Las concentraciones de metales reportadas en este trabajo pueden servir como base a futuras investigaciones de estas especies y del Sistema Arrecifal Veracruzano.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, G. G. 2002. Metales pesados en un sistema bentónico de dos arrecifes de coral de Veracruz, Ver. Tesis de licenciatura en Biología. FES-Iztacala. UNAM. 56 p.
- Agadi, V. V., N. B. Bhosle y A. Untawale. 1978. Metal concentration in some seaweeds of Goa (India). Bot. Mar., 21: 327-330.
- Albert, L. y F. Badillo. 1991. Environmental lead in México. Rev. Environ. Contam. Toxicol., 117: 1-48.
- Aulio, K. 1983. Heavy metals in the Green Alga *Cladophora glomerata* as related to shore types in the archipelago Sea, SW Finland. Marine Pollution Bulletin, 14 (9):347-348.
- Austin, A., J. Deniseger, y M. Clark. 1985. Lake algal populations and physico-chemical changes after 14 years input of metallic mining wastes. Water Research 19 (3).
- Baez, A., F. Gonzales, Solorio y R. Belmont. 1980. Determinación de plomo, cadmio y cromo en la precipitación pluvial de algunos lugares de la Republica Mexicana. TIT, Medio Ambiente.
- Black, W. y R. Mitchell. 1952. Trace elements in the common brown algae and in seawater. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 30:575-584.
- Bhon, A. 1979 Trace metals in Furoid algae and Purple Sea Urchins near a high Arctic lead/Zinc ore deposit. Marine Pollution Bulletin, vol, 10:325-327. Great Britain.
- Bold, H. C. y M. J. Wynne. 1978. Introduction to the algae. Ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, Nueva Jersey. 706 pp.
- Borowitzka, M.A. y W. D. Larkum. 1981. Reef algae. Endeavour, 5 (3) 99-106.
- Bryan, G. W. 1971. The effects of heavy metals on marine y estuarine organisms. Proc. R. Soc. Lond. Ser. B., 177: 389.
- Botello, A., G. Rojas, J. Benitez, y L. Zárate. 1996. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. México, EPOMEX Serie Científica 5. 666 p.
- Bryan, G. W. 1969 The absorption of zinc and other metals by the brown seaweed *Laminaria digitata*. J. Mar. Biol. Ass., U. K., 49: 225-243.
- Buo-Olayan, A. H. y M.N. Subrahmanyam. 1996. Heavy metals in marine algae of the Kuwait Coast. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57:816-823.
- Burdon-Jones, C. y D. Klumpp. 1979 Identification of sentinel organisms for monitoring metals in tropical coastal waters. Progress report to the Department of Science and the Environment. Canberra 2600. Australia. 103 pp.
- Burdin, K. S. y K. T. Bird. 1994. Heavy metal Accumulation by *Carregeenan* and *Agar* Producing Algae. Botanica Marina, 37:467-470.
- Carricart-Ganivet, J. P. y G. J. Horta-Puga. 1993. Arrecifes de Coral en México. Biodiversidad marina y costera de México. S. I. Salazar-Vallejo y González, N.E. (eds.) Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México. 865 p.
- Castagna, A., F. Sinatra, A. G. Castagna, A. Stoli, y S. Zafarana. 1985. Trace element evaluations in marine organisms. Mar. Pollut. Bull. 16: 416-419.

- Catsiki, VA; E Papanthassiou, F. Bei. 1991. Heavy Metal Levels in Characteristic Benthic Flora and Fauna in the Central Aegean Sea. Marine Pollution Bulletin MPNBAZ, Vol. 22, (11): 566-569
- CEM 1997 Microwave digestion applications Manual. CEM. Corporation.
- Costantini, S., R. Giordano, L. Ciaralli, y E. Beccaloni. 1991. Mercury, cadmium and lead evaluation in *Posidonia oceanica* and *Codium tomentosum*. Mar. Pollut. Bull. 22: 362-363.
- Cross, F. A. 1973. Relation between total body weight and concentrations of manganese, iron, copper, zinc and mercury in with muscle of blue fish and a bathyl demersal fish *Antinora rostrata*, J. Fish. Res. Bd. Can., 30: 1287.
- Davée, G. J., L. Drude, T. V. Laneuville. 1982. Concentracao de metais pesados em algas bentonicas de Baía da Ribeira, Angra Dos Reis, com sugestao de espécies moitoras. Rev. Brasil. Biol., 42(3):553-557.
- Dawes, C. J. 1986. Botánica Marina. Ed. Limusa. México. 673 p.
- Denton, G. R. W. y C. Burdon-Jones. 1986. Trace metals in algae from the Great Barrier Ref. Marine Pollution Bulletin. vol 17(3): 98-107.
- Diario Oficial de la Federación. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Ley que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales. (6-I-97).
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana-027-SSA1-1993. Productos de la Pesca. Pescados frescos, refrigerados y congelados. Especificación Sanitaria. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana-029-SSA1-1993. Productos de la Pesca. Crustáceos frescos, refrigerados y congelados. Especificación Sanitaria. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana-031-SSA1-1993. Productos de la Pesca. Moluscos bivalvos frescos, refrigerados y congelados. Especificación Sanitaria. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.
- Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana-129-SSA1-1993. Productos de la Pesca. Moluscos cefalópodos y gasterópodos frescos, refrigerados y congelados. Especificación Sanitaria. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México.
- Dissanayake, C. B. 1985. Metals in algal mats a geochemical study from Sri Lanka. Chemical Geology. 47: 303-320.
- Emery, K. O. 1963. Arrecifes coralinos en Veracruz, México. Geofísica Internacional 3(1): 11-17.
- Fernex, F. y C. Migon. 1994. Temporary and definitive fixation of atmospheric lead in deep-sea sediments of the Western Mediterranean Sea. Mar. Pollut. Bull. 12: 727-734.
- Florence, T. M. 1982. The speciation of trace metals in water. *Talanta*. 29: 355-364.
- Förstner, U. y W. Salomons. 1980. Trace metal analysis on polluted sediments. Part I: Assessment of sources and intensities. Envir. Tech. Lett. 1: 494-506.
- Förstner, U., y G. Wittman. 1979. Metal pollution in the aquatic environmental Springer-Verlag, Berlín. Capítulo G., pp. 324-359.
- Foster, L. P. 1982. Species associations and metal content of algae from rivers polluted by heavy metals. *Freshwater Biology* 12, 17-39.

- Fuge, R. y K. H. James. 1974. Trace metal concentrations in *Fucus* from the Bristol Channel. Marine Pollution Bulletin [Mar. Pollut. Bull.], vol. 5, no. 1, pp. 9-12.
- Gnassia-Barelli, M., M. Roméo, R. Delépine, y D. Puel. 1991. Trace metal concentration in benthic algae from French Mediterranean and Atlantic coasts. Oealia 17(1): Supple., 245-225.
- Gnassia-Barelli, M., R. Léeme, D. Pesando, y M. Romeo. 1995. Heavy metal distribution in *Caulerpa taxifolia* from the North-Western Mediterranean. Marine Pollution Bulletin, vol. 30 (11): 749-755.
- González-Fierro, A., A. Vázquez-Botello, S. Villanueva-Fragroso, y G. Ponce-Vélez. 1994. Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna de Sontecomapan, Ver. Mex. Hidrobiología. 4 (1-2):35-43.
- Goreau, T. F. y T. J. Goreau. 1979. Corales y Arrecifes coralinos. Investigación y Ciencia. 37:48-60.
- Gout, B. 1991. Influence des Aports Terrigènes dans les Ecosystèmes Lagunaires de Mayotte et de Nouvelle-Calédonie (Province Indo-Pacifique). Impact sur les Peuplements Benthiques. Thesis, Université de Montpellier, France.
- Güven, K. C., N. Saygi, y B. Öztürk. 1993. Survey of metal contents of Bosphorus algae, *Zostera marina* and sediments. Botánica marina. Vol. 36: 175-178.
- Güven, K.C., Topocuoğlu, S., Kut, D., Esen, N. Erentürk, N., Saygri, N., Cevher, E., Güvener, B. Y. 1992 Metal uptake by Black Sea algae. Botánica Marina. Vol. 35: 337-340.
- Haritonidis, S. y P. Malea. 1999. Bioaccumulation of metals by green alga *Ulva rigida* from Thermaikos Gulf, Greece. Environmental Pollution 104:365-372.
- Haritonidis S. y G. Nikolaidis. 1990. Cd and Zn uptake in Macrophyceae from Greek coasts. Biol. Met. 2: 235-238.
- Hernandez y Tinoco. 1986. Sedimentos del Sistema Arrecifal Veracruzano. SecMar.
- Ho Y. B. 1990 Metals in *Ulva lactuca* in Hong Kong intertidal waters. Bull. Mar. Sci. 47:79-85.
- Hernández, R. 1982. Algunos resultados del estudio de corrientes en la bocana del puerto de Veracruz, Ver. Dirección General de Oceanografía. SecMar. México
- Horta-Puga, G., G. Barba, M. Tello. 1997 The Veracruz Reef System in the Gulf of México: An Environmental Review. (Resúmenes) Simposio Ecosistemas Acuáticos de México. Cd. México 21 pp.
- Horta-Puga, G. y R. Ramírez -Palacios. 1996. Muestras de Plomo en esqueleto de coral arrecifal *Montastrea annularis*. En: Botello, A., Rojas, G., Benitez, J. y Zárate, L. 1996. Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. México, EPOMEX Serie Científica 5. 666 p.
- Horta-Puga, G. 1995 Contaminación por metales pesados en corales escleractinios del Sistema Arrecifal Veracruzano. Sin publicar.
- Hou, X. y Y. Xiaojun. 1998. Study on the concentration and seasonal variation of inorganic elements in 35 species of marine algae. Science of the Total Environment [Sci. Total Environ.]. Oct. Vol. 222 (3): 141-156. 27
- Humann, P. 1993. Reef coral identification Florida, Caribbean, Bahamas. Editada por Ned Deloach. Jacksonville, Florida. USA.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2003. www. INEGI.gob.mx

- Jackim, E. 1970. Effects of metal poisoning on five liver enzymes in killifish. J. Fish. Res. Bd. Can., 27:383
- Johannes, R. E. 1972. Coral Reefs and Pollution. Marine Pollution and Sea Life. Fishing News Books. London. 364-375.
- Jordán, D. 1988. Los corales. Naturaleza. 5/78 (69) octubre.
- Jordanova, A., A. Strezov, M. Ayranov, N. Petkov, y T. Stoliova. 1999. Heavy metals assessment in algae, sediments and water from the Bulgarian coast. Water, Science and technology. 39 (8): 207-212.
- Karez, C., V. F. Magalhaes, W. C. Pfeiffer. 1994. Trace metal accumulation by algae in sepetiba bay, Brazil. Enviromental Pollution. 83:351-356.
- Karez, C.S. y R. C. Pereira. 1995. Metal contents in Polyphenolic fractions extracted from the Brown Alga Padina gymnospora. Botánica Marina. vol. 38: 151-155.
- Khristoforova, N. y N. Bogdanova. 1980. Mineral composition of seaweeds from coral islands of the Pacific Ocean as a function of enviromental conditions. Mar. Ecol. Prog. Ser. 3: 25-29. Citado en Denton y Burdon-Jones 1986.
- Khummongkol, D., G.S. Canterford, y C. Fryer. 1982. Acumulation of Heavy metals in Unicellular algae. Biotechnology and Bioengineering. Vol XXIV: 2643-2660.
- Kureishy, T. 1991. Heavy metals in algae around the coast of Qatar. Mar. Pollut. Bull. 22: 414-416.
- Lanza, G., M. Ortega, J. Laparra, M. Carrillo, J. Godinez. 1989. Análisis químico de metales pesados (Hg, Pb, Cd, As, Cr y Sr) en algas marinas de Baja California. Anales Inst. Biol. UNAM, Ser. Bot. 59 (1):89-102.
- Lombardo P. S. 2003. Panorama hidráulico de México. Colegio de Veracruz. Xalapa, Ver. 32 pp.
- Loya, Y. 1972. Community Structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. Marine Biology. 13: 100-123.
- Luna-Bauza, C. 1993. 70 años de datos climáticos en Veracruz, Ver. México: 1917-1986. Centro de Previsiones del Golfo, Veracruz, México. 41 p.
- Mandelli, E. F. 1979 Contaminación por metales pesados. Rev Com Perm Pacifico Sur 10: 209-228.
- Melhuus, A. y K. L. Seip. 1978. A preliminary study of the use of benthic algae as biological indicators of heavy metal pollution in Sorfjorden, Norway. Enviromental Pollution(15).
- Munda, I. y V. Hudnik. 1991. Trace metals content in some seaweeds from the Northern Adriatic. Botánica Marina 34: 241-249.
- Muse, J. O., J. D. Stripeikis, F. M. Fernandez, L. D. Huicque, M. B. Tudino, C. N. Carducci, O. E. Troccoli. 1999. Seaweeds in the assessment of heavy metal pollution in the Gulf San Jorge, Argentina. Environmental Pollution Great Britain. 104:315-322.
- Nienhuis, P. H. 1986. Background levels de heavy metals in nine tropical seagrass species in Indonesia. Mar. Poll. Bull. 17(11): 508-511.
- Noriega, E. E. 2001. Metales pesados en Thalassia testudinum (pasto marino), en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala. UNAM. 48 p.
- Nowlin, W. D. Jr. 1971. Water masses and general circulation of the Gulf of Mexico. Oceanology. 6:28-33.

- Olmos-Aguilera, T. 1992. Variación temporal de las concentraciones de metales pesados en el ostión *Cassostrea gigas* cultivado en la Bahía de San Quintín, B. C., México. Tesis de Maestría CICESE, 5p.
- Páez- Osuna F., A. V. Botello, y S. F. Villanueva. 1986. Heavy metals in Coatzacoahuas Estuary and Ostion Lagoon, México. Mar. Pollut. Bull. 11:516-519.
- Páez- Osuna F., L. D. Valdez, H. M. Alexander y P. H. Fernández. 1987. Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, México. Mar. Pollut. Bull. 18: 294-297.
- Paez, O. F. 1999. Contaminación por metales en las costas de México. Ciencia y desarrollo. Nov/Dic. Vol XXV (149).
- PEMEX, 1987. Evaluación de los corales escleractinios del Sistema Arrecifal del Puerto de Veracruz. PEMEX y SECMAR. México. GPTA-E-01/87.116 p.
- Phaneuf, D., J. Cote, P. Dumas, L. A. Ferron, A. Leblanc. 1999. Evaluation of the Contamination of Marine Algae (Seaweed) from the St. Lawrence River and Likely to Be Consumed by Humans. Environmental Research. Section A. 80:175-182.
- Phillips, D. J. 1979. Trace metals in the common mussel, *Mytilus edulis* and in the alga *Fucus vesiculosus* from the region of the sound (Öresund). Environmental Pollution. Vol. 18: 31-43. Great Britain
- Phillips, D. 1991. Heavy metals in algae around the coast of Qatar. Mar Poll Bull. Vol. 22. (8): 414-416.
- Pulich, M. 1980. Heavy metals accumulation by selected *Halodule wrightii* ASH population in the Corpus Christi Bay Areas. Marine Science 23: 89-100.
- Rai, L., J. Gaur, H. Kumar. 1981. Protective Effects of Certain Environmental Factors on the Toxicity of Zinc, Mercury, and Methylmercury to *Chlorella vulgaris*. Environmental Research [ENVIRON. RES.]. Vol. 25(2): 250-259.
- Ravera, O. y N. Riccardi. 1997 Biological monitoring with organisms accumulator of pollutants. Marine Chemistry. 58: 313-318.
- Rice, D. y B. Lapointe. 1981. Experimental Outdoor Studies With *Ulva fasciata* Delile. II. Trace Metal Chemistry. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology [J. EXP. MAR. BIOL. ECOL.], vol. 54 (1): 1-11.
- Robledo, D. y P. Freile. 1997. Chemical and Mineral Composition of six potentially edible seaweed species of Yucatán. Botánica Marina. 40: 301-306.
- Romeril, M. G. 1971. The uptake and distribution of 65 ZN in oysters. Mar. Biol 9: 347.
- Rosales, H. L., E. A. Carranza, y R. U. Álvarez. 1986. Sedimentological and Chemical studies in sediments from Alvarado lagoon system, Veracruz, México. And Inst. Cienc. Mar. Limnol. UNAM. México. 13:19-28.
- Rosas, P., A. Baez y Belmont. 1983. Oyster (*Crassostrea virginica*) as indicator of heavy metals pollution in some lagoons of the Gulf of México. Water, Air and Soil Pollut. 70: 127-135.
- Salwa A., Shehata, R., Mohamed, Lasheen, A. Imam, Kobbia, H. Gamalia, G. H. Ali. 1997 Toxic effect of certain metals mixture on some physiological and morphological characteristics of freshwater algae. Water, Air and soil pollution. 110: 119-135.
- Sanchez, J. y T. Hernández. 1992. Masas de agua en la costa de la ciudad de Veracruz, Ver. durante el periodo mayo 1991-abril 1992. In: IX Cong. Nal. Oceanogr. Nov. 1992. Veracruz, Ver. Resumen p. 27. Departamento de física y meteorología marina. Instituto

- de Investigación Oceanográfica del Golfo y Mar Caribe. D. G. O. N. Secretaría de Marina.
- Vázquez, C. 1983. Corrientes marinas en el puerto de Veracruz en febrero de 1980. Dirección General de Oceanografía. SecMar. México.
  - Sanchiz, C., A. García-Carrascosa. y A. Pastor. 2000. Heavy metals contents in soft-bottom marine macrophytes and sediments along the Mediterranean Coast of Spain. Marine Ecology. 21 (1): 1-16.
  - Sanchiz, C., A. García-Carrascosa y A. Pastor. 1999. Bioaccumulation of Hg, Cd, Pb and Zn in four marine phanerogams and the alga *Caulerpa prolifera* (Försskal) Lamoureaux from the east coast of Spain. Botanica Marina. 42: 157-164.
  - Santelices, B. 1977. Ecología de Algas Marinas Bentónicas. Efectos de factores ambientales. Univ. Catl. Chile. Chile. 383 pp.
  - Secretaría de Marina. 1974. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marino. OSM. No. 1000 Atlas Oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe. Sección I: Mareas y Corrientes. México.
  - Secretaría de Desarrollo Social. 1992. Decreto por el que se declara área natural protegida con carácter de Parque Marino Nacional, el Sistema Arrecifal Veracruzano. Diario Oficial de la Federación, 24 de Agosto de 1992. Gobierno de la Republica.
  - Shehata, S. A., M. R. Lasheen, I. A. Kobbia, y G. H. Ali. 1997. Toxic effect of certain metals mixture on some physiological and morphological characteristics of freshwater algae. Water, Air and Soil Pollution 110: 119-135.
  - Shiber, J. 1980. Trace metals with seasonal considerations in coastal algae and molluscs from Beirut, Lebanon. Hydrobiologia. 69 (1-2):147-162.
  - Shiber, J. G. y T. Shatila, 1979. Certain metals in three coastal algae from Beirut waters. Hidrobiología. vol. 63 (2): 105-112.
  - Shubert, L. E. 1984. Algae as ecological indicators. Edit. Academic Press. University of North Dakota Grand Forks, USA. 427 p.
  - Simoes, G. M. y A. C. Lopes da Conceicao. 1989. Metal ion binding of copper (II), zinc(II), and lead(II) by the alga *Selenastrum capricornutum* printz. The Science of the Total Environmental. 78: 155-166.
  - Sivaligam, P. M. 1978. Biodeposited trace metals and mineral content studies of some tropical marine algae. Bot. Mar. 21: 327-330.
  - Soto, M. y E. García. 1989. Atlas climático del estado de Veracruz. Instituto de Ecología, Xalapa, Ver., México. 125 p.
  - Stodart, D. R. 1969. Ecology and Morfology of recent coral reefs. Biol. Rev. 44: 433-498.
  - Trefry, J. 1981. A review of existing knowledge on trace metals in the Gulf of México. En: Proceeding of a Symposium on Environmental Research the Gulf of Mexico (GOMEX) vol. IIB
  - Tovar, J. E. 2000 Evaluación de metales pesados en dos sistemas bentónicos arrecifales de Veracruz, Ver. Tesis de licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala. UNAM.
  - Tunnell, J. W. 1988. Regional comparación of southwestern Gulf of Mexico to Caribbean Sea coral reefs. Proc. 6th Int. Coral Ref. Symp. , Australia 3:303-308.
  - Vargas-Hernández, J. M. A. Hernández Gutiérrez, L. F. Carrera Parra. 1993. Sistema Arrecifal Veracruzano. In: Salazar Vallejo, S. I., Gonzáles, N. E. (ed) Biodiversidad marina y costera de México. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México.

- Varian. 1989. Analytical methods Flame atomic absorption Spectrometry. Press. Varian Australia.
- Villanueva, F. S., V. A. Botello, O. F. Paez. 1988. Evaluación de algunos metales pesados en organismos del río Coatzacoalcos y de la laguna del Ostión, Veracruz. Contaminación Ambiental. 4, 19-38. 1988.
- Villanueva, F. S. y V. A. Botello. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión. Rev Int Cont Amb. 8 (1): 47-61.
- Vymazal, J. 1984. Short-term uptake of heavy metals by periphyton algae. Hidrobiología. 119:171-179.
- Winkels, H., G. Blom, S. Kroonenberg y L. Lijklema. 1998. Dilution of riverine heavy metal input concentration by suspension of sediments and algal growth in the IJsselmeer. Wat. Res. 32 (10): 2931-2934.
- Wilkinson, M., MacLeod, L. And Fuller. 1980. A first Account of estuarine algae under combined condition of very low pH and metal Enrichment. Botánica Marina. vol. XXIII : 475-477.
- Wong, M. H., K. Y. Chan, M. C. F. Kwan. 1979. Metal contents of the two marine algae found on iron ore Tailings. Marine Pollution Bulletin. (10): 56-59.
- Wong, S. L., L. Y. Nakamoto, J. Wainwright. 1994. Identification of toxic metals in affected algal cell in assay of wastewaters. Journal of Applied Phycology. 6; 405-414.
- Xiomara, J. Gutiérrez, J. Bonilla y B. Gamboa. 1990. Composición química de macroalgas representativas de la región Nor-oriental de Venezuela. Bol. Inst. Oceanogr. Univ. Oriente. 29 (1-2): 103-131.
- Yonge, C. M. 1963. The biology of coral reefs. Adv. Mar. Biol., 1:209-263.
- Zingde, M., S. Singbal, C. Reddy. 1979. Some Observations on Pollutants of Velsao Bay (GOA). Mahasagar-Bulletin of the National Institute of Oceanography. Vol. 12, (2): 69-74.
- Zizumbo, A. L. 1995. Estudio ficoflorístico de las macroalgas bénticas del arrecife coralino Isla Verde, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura en Biología. ENEP-Iztacala. UNAM.
- Zolotukhina, Y. Y. y Y. Y. Gravilenko, 1991. Distribution of copper and cadmium in Aquatic Macrophytes. Gidrobiologicheskoye kiyzhurnal, 27 (4):61-69. Moscow University.

## ANEXO I

**Algas:** Plantas simples sin raíces verdaderas, pero atadas al sustrato por estructuras de sostén llamadas rizoides y talos erguidos conectados llamados rizomas.

**CHLOROPHYTA:** Generalmente las algas más comúnmente observadas sobre los arrecifes tropicales. Son muy abundantes y representadas por un gran número de especies. Muchas son calcáreas y junto con las algas rojas coralinas añaden cantidades significantes de carbonato de calcio en los arrecifes, tanto como las arenas blancas brillantes encontradas sobre y alrededor de los arrecifes. Las algas verdes crecen en un amplio rango de patrones, incluyendo las llamadas algas singulares en forma de burbuja, de abanico, de hoja, cerdosas, como cepillo, uvas colgantes, serradas afiladas, hojas rectas. El pigmento primario responsable de la coloración es la clorofila, con rangos de color desde los oscuros a verde pálido-brillante a verde-amarillento, verde parduzco y verde oscuro.

**ORDEN CAULERPALES**  
**FAMILIA CAULERPACEAE**

***Caulerpa cupressoides*** (West in Vahl) C. Agardh

Cactus tree alga

1-10 in.

Profundidad: 3-18 ft.

El talo consta de un estolón y fondas erectas bien diferenciados. El estolón es rastrero de varios decímetros de largo y de 1.5-3 mm de diámetro, fijo al sustrato por ramas rizoidales descendentes que dan origen a rizoides fibrosos y delgados de aproximadamente 5 cm de longitud. Talo en forma de un grueso tronco que se divide en bifurcaciones verticales que se extienden como un corredor desde la arena.

La fronda lineares constituidas por ejes erectos con largas filas de cortas y gruesas ramas de diversas formas pueden ser altas y esbeltas con solamente unas pocas ramas o cortas y espesas con numerosas ramas, ejes situados a intervalos de 1 a 3 cm, ocasionalmente cada 5 cm a lo largo del estolón, y poseen una longitud de 3 a 10.5 cm, con



ramificaciones de hasta 3er orden y con la base de los ejes principales desnuda. Los ejes principales y las ramas están cubiertos por protuberancias imbricadas, con una longitud de aproximadamente 2 veces el diámetro del eje que las soporta son subnaviculares provistas de una espina apical distribuidas en tres hileras alrededor de cada eje.

Facie: arenosa y coralina.

Modo: semiprotegido y protegido.

Hábitat y Comportamiento: Crece en aguas poco profundas, áreas de arena protegidas, frecuentemente adyacentes a la parte trasera de la cresta.

Ambiente y Distribución: Ocasionalmente sur de Florida, Bahamas, Caribe, Golfo de México. Puede ser abundante en áreas localizadas.

Época de colecta: sequía y lluvias.

(Zizumbo, 1995; Humann, 1993).

## ***Caulerpa racemosa*** (Forsskal) J. Agardh

Green grape alga

½-6 in.

Profundidad: 0-65 ft.

Talo con espolón y frondas erectas bien diferenciadas. El estolón rastrero, Numerosas ramificaciones largas irregularmente, cilíndricas de 1-2 mm de diámetro fijo al sustrato por ramas rizoidales descendentes que dan origen a rizoides fibrosos y delgados. La fronda esta constituida por ejes erectos ramificados irregularmente las ramas se encuentran cubiertas por ramillas cortas pediceladas, con los ápices globosos de alrededor de 2 mm de diámetro que dan a las ramas semejanza a racimos de uvas unidas por diminutos tallos. Verdes oscuras a luminosas frecuentemente con tintes azulados. Existen pocos patrones diferentes de crecimiento de esta especie.

Facie: Arenosa.

Modo: Protegido.

Hábitat y comportamiento: Crecen comúnmente en aguas bajas inetermareales, áreas rocosas, usualmente con menor oleaje y movimiento de agua. También habita en rocas, áreas arrecifales de baja a moderada profundidad. Varias especies nudibranquios comen exclusivamente de estas algas (Humann, 1993).

Ambiente y Distribución: Comun en el sur de Florida, Bahamas, Caribe.

Época de colecta: lluvias (Zizumbo, 1995; Humann, 1993).



***Caulerpa sertularioides* f. brevipes (J. Agardh) Svedelius**

Green feather alga

4-8 in.

Profundidad: 3-5 ft.

Talo con estolón y frondas erectas bien diferenciados. Talo firme como emplumado. El estolón es ramificado rastrero de 1 a 2 mm de diámetro, fijo al sustrato por ramas rizoidales descendentes que dan origen a rizoides fibrosos y delgados. Las frondas están constituidas por ejes erectos pinulados, sésiles o ligeramente pedunculados situados a intervalos de 0.3 a 1.5 cm a lo largo del estolón poseen una longitud de 1-3.5 cm y de 0.5-1 cm de ancho ocasionalmente ramificados. Las pínulas son dísticas, cilíndricas e incurvadas, generalmente de 16-19 pínulas por cm. Ápice de las pínulas mucronato. Ramas pinadas cilíndricas con puntas afiladas. Verde claro.

Facie: Arenosa

Modo: protegido

Hábitat y comportamiento: Crece en áreas bajas de arena, frecuentemente entre arrecifes bajos protegidos. También crece en áreas de manglares y ocasionalmente atadas a sus raíces.

Ambiente y Distribución: Ocasionalmente en el sur de Florida, Bahamas y Caribe.

Época de colecta: sequía y lluvias (Zizumbo, 1995; Humann, 1993).



## FAMILIA UDOTEACEAE

### *Halimeda discoidea* Decaisne

Large leaf water cress alga

4-8 in.

Ancho del segmento: 3/8-1 1/2 in.

Profundidad: 3-220 ft.

Plantas erectas de 2.5-4.5 cm de altura bien calcificadas de color verde-blanquecino con una masa rizoidal pequeña. El talo esta constituido por segmentos comprimidos, de textura papiracea, separados por articulaciones flexibles. La ramificación es policotómica.

Se ramifica en grupos de segmentos con forma se hoja redondas, lisas, con forma de abanico o disco. Atado por un sostén firme único con uniones flexibles entre los segmentos.

Tiende a crecer en único plano (menos obvio en plantas grandes). Los segmentos redondos con margen entero ligeramente truncados en la parte inferior con un diámetro de 5-13 mm.

Estructuralmente, los utrículos corticales están ligeramente truncados en su margen superior y poseen un diámetro de 24-36  $\mu$ . Los utrículos subcorticales miden de 15-81  $\mu$  de diámetro y 45  $\mu$  de largo. Color verde brillante a verde amarillento, ocasionalmente blanco; bordes segmentados frecuentemente amarillos. Sus segmentos en forma de hoja son los mas grandes encontrados en este genero.

Hábitat y comportamiento: Crece en la mayoría de los ambientes marinos desde arrecifes a fondos de arena planos, cascos y sustratos duros.

Ambiente y distribución: Común a abundante en el Sur de Florida, Bahamas y Caribe.

Época de colecta: Lluvias.

Nota: Las hojas calcificadas de esta y otras especies de *Halimeda* son considerados contribuidores mayores de carbonato de calcio a la arena del arrecife (Zizumbo, 1995; Humann, 1993).



***Halimeda opuntia* f. cordata (J. Agardh) Barton**

Water cress alga

4-8 in

Ancho de segmentos: 1/8-3/8 in.

Profundidad: 3-150 ft.

Plantas erectas de aspecto arbustivo de 4-6 cm de altura, bien calcificadas de color verde-blanquecino la ramificación es densa en varios planos la cual forma varias colonias sujetas al sustrato en varios puntos, sin una base primaria persistente. Delgada, profusamente ramificada. El talo esta constituido por segmentos separados por articulaciones flexibles son comprimidos y poseen el margen inferior ligeramente pedicelado; son redondeados y se prolongan hacia abajo en dos aurículas bien desarrolladas, las cuales se sobreponen a la articulación inferior siguiente. Cada segmento trilobulado con tres costillas radiales visibles sobre su superficie. Los segmentos en forma de hoja poseen un diámetro de 5 a 9 mm y una longitud de 3 a 5 mm. La organización de cada segmento es filamentosa. Los filamentos son cenocíticos, ramificados, constituyendo una región medular laxa, y otra cortical densa; con filamentos dispuestos radialmente, ramificados, cuyas células terminan dilatadas a las que se nombra utrículos formando una epidermis continua. El diámetro de los utrículos es de 18.6-32  $\mu$ . Se extiende lateralmente para cubrir grandes áreas del arrecife o la arena. Verde brillante a oscuro y verde amarillento.

Facie: rocosa y coralina

Modo: semiprotegido y protegido

Habitat y comportamiento: Crece en depresiones bajas, grietas y hendiduras, entre corales duros y algunas veces en áreas protegidas del arrecife. Crece también sobre arena, especialmente alrededor y sobre los arrecifes.

Ambiente y distribución: Abundante en el sur de Florida, Bahamas y el Caribe.

Época de colecta: sequía y lluvias.

Nota: Las hojas calcificadas de esta y otras especies de *Halimeda* son considerados contribuidores mayores de carbonato de calcio a la arena del arrecife. Pude cubrir grandes áreas del arrecife. (Zizumbo, 1995; Humann, 1993).



## ANEXO II

### HIERRO

Hierro (química), de símbolo Fe (del latín ferrum, 'hierro'), es un elemento metálico, magnético, maleable y de color blanco plateado. Tiene de número atómico 26 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico.

Fue descubierto en la prehistoria y era utilizado como adorno y para fabricar armas; el objeto más antiguo, aún existente, es un grupo de cuentas oxidadas encontrado en Egipto, y data del 4000 a.C. El término arqueológico edad del hierro se aplica sólo al periodo en el que se extiende la utilización y el trabajo del hierro. El procesado moderno del hierro no comenzó en Europa central hasta la mitad del siglo XIV.

El hierro puro tiene una dureza que oscila entre 4 y 5. Es blando, maleable y dúctil. Se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria; es difícil magnetizarlo en caliente, y a unos 790 °C desaparecen las propiedades magnéticas. Tiene un punto de fusión de unos 1.535 °C, un punto de ebullición de 2.750 °C y una densidad relativa de 7,86. Su masa atómica es 55,845.

El metal existe en tres formas alotrópicas distintas: hierro ordinario o hierro- $\alpha$  (hierro-alfa), hierro- $\gamma$  (hierro-gamma) y hierro- $\delta$  (hierro-delta). La disposición interna de los átomos en la red del cristal varía en la transición de una forma a otra. La transición de hierro- $\alpha$  a hierro- $\gamma$  se produce a unos 910 °C, y la transición de hierro- $\gamma$  a hierro- $\delta$  se produce a unos 1.400 °C. Las distintas propiedades físicas de las formas alotrópicas y la diferencia en la cantidad de carbono admitida por cada una de las formas desempeñan un papel importante en la formación, dureza y temple del acero.

Químicamente el hierro es un metal activo. Se combina con los halógenos (flúor, cloro, bromo, yodo y astato) y con el azufre, fósforo, carbono y silicio. Desplaza al hidrógeno de la mayoría de los ácidos débiles. Arde con oxígeno formando tetróxido triférrico (óxido ferrosférico),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

El hierro sólo existe en estado libre en unas pocas localidades, en concreto al oeste de Groenlandia. También se encuentra en los meteoritos, normalmente aleado con níquel. En forma de compuestos químicos, está distribuido por todo el mundo, y ocupa el cuarto lugar en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre; después del aluminio, es el más abundante de todos los metales. El principal mineral de hierro es la hematites. Otros minerales importantes son la goetita, la magnetita, la siderita y el hierro del pantano (limonita). La pirita, que es un sulfuro de hierro, no se procesa como mineral de hierro porque el azufre es muy difícil de eliminar. También existen pequeñas cantidades de hierro combinadas con aguas naturales y en las plantas; además, es un componente de la sangre.

El hierro puro, preparado por la electrólisis de una disolución de sulfato de hierro (ii), tiene un uso limitado. El hierro comercial contiene invariablemente pequeñas cantidades de carbono y otras impurezas que alteran sus propiedades físicas, pero éstas pueden mejorarse considerablemente añadiendo más carbono y otros elementos de aleación. La mayor parte del hierro se utiliza en formas sometidas a un tratamiento especial, como el hierro forjado, el hierro colado y el acero. Comercialmente, el hierro puro se utiliza para obtener láminas metálicas galvanizadas y electroimanes. Los compuestos de hierro se usan en medicina para el tratamiento de la anemia. Según estimaciones para 2000, la producción anual de hierro se situaba en torno a los 1.010 millones de toneladas.

El hierro forma compuestos en los que tiene valencia +2 compuestos ferrosos y compuestos en los que tiene valencia +3 compuestos férricos. Los compuestos de hierro (ii) se oxidan con facilidad a compuestos de hierro (iii). El compuesto más importante de hierro (ii) es el sulfato de hierro (ii),  $\text{FeSO}_4$ , denominado caparrosa verde; normalmente existe en forma de cristales verde pálido que contienen siete moléculas de agua de hidratación. Se obtiene en grandes cantidades como subproducto al limpiar el hierro con baño químico, y se utiliza como mordiente en el teñido, para obtener tónicos medicinales y para fabricar tinta y pigmentos.

El óxido de hierro (iii), un polvo rojo amorfo, se obtiene tratando sales de hierro (iii) con una base, y también oxidando pirita. Se utiliza como pigmento, y se denomina rojo de hierro o rojo veneciano. También se usa como abrasivo para pulir y como medio magnetizable de cintas y discos magnéticos. El cloruro de hierro (iii), que se obtiene en forma de cristales brillantes de color verde oscuro al calentar hierro con cloro, se utiliza en medicina y como una disolución alcohólica llamada tintura de hierro.

Los iones de hierro (ii) y hierro (iii) se combinan con los cianuros para formar compuestos de coordinación. El hexacianoferrato (ii) de hierro (iii) o ferrocianuro férrico,  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ , es un sólido amorfo azul oscuro formado por la reacción de hexacianoferrato (ii) de potasio con una sal de hierro (iii) y se conoce como azul de Prusia. Se usa como pigmento en pintura y como añil en el lavado de ropa para corregir el tinte amarillento dejado por las sales de hierro (ii) en el agua. El hexacianoferrato (iii) de potasio,  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ , llamado prusiato rojo, se obtiene del hexacianoferrato (iii) de hierro (ii),  $\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ . A éste se le llama también azul de Turnbull y se usa para procesar el papel de calco. El hierro experimenta también ciertas reacciones fisicoquímicas con el carbono, que son esenciales para fabricar el acero.

## ZINC

Cinc o Zinc, de símbolo Zn, elemento metálico blanco azulado que tiene muchas aplicaciones industriales. Es uno de los elementos de transición del sistema periódico; su número atómico es 30. Los minerales de cinc se conocen desde hace mucho tiempo, pero el cinc no fue reconocido como elemento hasta 1746, cuando el químico alemán Andreas Sigismund Marggraf aisló el metal puro calentando calamina y carbón de leña.

El cinc puro es un metal cristalino, insoluble en agua caliente y fría, y soluble en alcohol, en los ácidos y en los álcalis. Es extremadamente frágil a temperaturas ordinarias, pero se vuelve maleable entre los 120 y los 150 °C, y se lamina fácilmente al pasarlo entre rodillos calientes. No es atacado por el aire seco, pero en aire húmedo se oxida, cubriéndose con una película carbonada que lo protege de una posterior corrosión. Tiene un punto de fusión de 420 °C, un punto de ebullición de 907 °C y una densidad relativa de 7,14. Su masa atómica es 65,409.

Ocupa el lugar 24 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No existe libre en la naturaleza, sino que se encuentra como óxido de cinc (ZnO) en el mineral cincita y como silicato de cinc ( $2\text{ZnO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) en la hemimorfita. También se encuentra como carbonato de cinc ( $\text{ZnCO}_3$ ) en el mineral esmitsonita, como óxido mixto de hierro y cinc ( $\text{Zn}(\text{FeO}_2)\text{O}_2$ ) en la franklinita, y como sulfuro de cinc (ZnS) en la esfalerita, o blenda de cinc. Las menas utilizadas más comúnmente como fuente de cinc son la esmitsonita y la esfalerita.

El primer paso en el proceso metalúrgico es transformar los minerales en óxidos, sometiéndolos a altas temperaturas. Después se reducen los óxidos con carbono en un horno eléctrico y el cinc hierve y se destila en la retorta, en donde tiene lugar la reducción. El cinc obtenido por destilación contiene pequeñas cantidades de hierro, arsénico, cadmio y plomo, y es conocido en metalurgia como peltre. En otro método de refinado, los minerales se calcinan y se lixivian con ácido sulfúrico. Después de separar las impurezas, la disolución se electroliza. El cinc electrolítico es puro y tiene cualidades superiores como, por ejemplo, una mayor resistencia a la corrosión.

El metal se usa principalmente como capa protectora o galvanizador para el hierro y el acero, y como componente de distintas aleaciones, especialmente del latón. También se utiliza en las placas de las pilas (baterías) eléctricas secas, y en las fundiciones a troquel. El óxido de cinc, conocido como cinc blanco, se usa como pigmento en pintura. También se utiliza como relleno en llantas de goma y como pomada antiséptica en medicina. El cloruro de cinc se usa para preservar la madera y como fluido soldador. El sulfuro de cinc es útil en aplicaciones relacionadas con la electroluminiscencia, la fotoconductividad, la semiconductividad y otros usos electrónicos; se utiliza en los tubos de las pantallas de televisión y en los recubrimientos fluorescentes.

## MANGANESO

Manganeso, de símbolo Mn, es un elemento metálico, frágil, de aspecto blanco plateado. Se emplea fundamentalmente en aleaciones. El manganeso es uno de los elementos de transición del sistema periódico. Su número atómico es 25.

El manganeso fue descubierto como elemento en 1774 por el químico sueco Carl Wilhelm Scheele, y fue aislado por primera vez por Johan Gottlieb Gahn ese mismo año. El metal manganeso se corroe en aire húmedo y se disuelve en ácidos. Tiene un punto de fusión de 1.245 °C, y un punto de ebullición de 962 °C; su densidad es 7,2 g/cm<sup>3</sup>, y su masa atómica 54,938.

El manganeso puro se obtiene por la combustión de la pirolusita (dióxido de manganeso) con polvo de aluminio, o por la electrólisis del sulfato de manganeso. Este metal no se da en la naturaleza en estado puro, excepto en los meteoritos, pero se encuentra ampliamente distribuido en todo el mundo en forma de menas como la rodocrosita, la franklinita, la psilomelana y la manganita. Ocupa el lugar 12 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. La principal mena del manganeso es la pirolusita. Entre los países productores de manganeso figuran Ucrania, Georgia, Sudáfrica, Brasil y México.

El uso principal del manganeso es la formación de aleaciones de hierro, obtenidas mediante el tratamiento de pirolusita en altos hornos con hierro y carbono. Las aleaciones ferromanganesas (hasta un 78% de manganeso), utilizadas para fabricar aceros, y las aleaciones spiegeleisen (de un 12 a un 33% de manganeso), son las más importantes. En pequeñas cantidades, el manganeso se añade al acero como desoxidante, y en grandes cantidades se emplea para formar una aleación muy resistente al desgaste. Las cajas fuertes están hechas de acero de manganeso, con un 12% de manganeso. Entre las aleaciones no ferrosas de manganeso se encuentran el bronce de manganeso (compuesto de manganeso, cobre, estaño y cinc), resistente a la corrosión del agua de mar y que se utiliza en la fabricación de hélices de barcos y torpedos, y la manganina (compuesta de manganeso, cobre y níquel), usada en forma de cables para mediciones eléctricas de alta precisión, dado que su conductividad eléctrica apenas varía con la temperatura. Véase también Siderurgia.

El manganeso suele formar compuestos con valencias de 2, 3, 4, 6 o 7. El dióxido de manganeso (MnO<sub>2</sub>) se da en la naturaleza en forma de pirolusita, y puede obtenerse artificialmente calentando nitrato de manganeso. Se utiliza en pinturas y barnices, para pintar cristales y cerámica, en la obtención de cloro y yodo y como despolarizador en baterías de pilas secas. El sulfato de manganeso (II) (MnSO<sub>4</sub>), un sólido cristalino de color rosa, se prepara por la acción de ácido sulfúrico sobre dióxido de manganeso, y se utiliza en tintes para el algodón. El permanganato de sodio y el de potasio (NaMnO<sub>4</sub> y KMnO<sub>4</sub>) son cristales de color púrpura oscuro, formados por la oxidación de sales ácidas de manganeso, y se emplean como oxidantes y desinfectantes

## **PLOMO**

Plomo, de símbolo Pb (del latín plumbum, 'plomo'), es un elemento metálico, denso, de color gris azulado. Es uno de los primeros metales conocidos. Su número atómico es 82, y se encuentra en el grupo 14 del sistema periódico.

Hay referencias al plomo en el Antiguo Testamento y ya lo empleaban los romanos para tuberías, aleado con estaño.

El plomo es un metal blando, maleable y dúctil. Si se calienta lentamente puede hacerse pasar a través de agujeros anulares o troqueles. Presenta una baja resistencia a la tracción y es un mal conductor de la electricidad. Al hacer un corte, su superficie presenta un lustre plateado brillante, que se vuelve rápidamente de color gris azulado y opaco, característico de este metal. Tiene un punto de fusión de 328 °C, un punto de ebullición de 1.740 °C y una densidad relativa de 11,34. Su masa atómica es 207,20.

El plomo reacciona con el ácido nítrico, pero a temperatura ambiente apenas le afectan los ácidos sulfúrico y clorhídrico. En presencia de aire, reacciona lentamente con el agua formando hidróxido de plomo, que es ligeramente soluble. Los compuestos solubles de plomo son venenosos. Aunque normalmente el agua contiene sales que forman una capa en las tuberías que impide la formación de hidróxido de plomo soluble, no es aconsejable emplear plomo en las tuberías de agua potable.

El plomo se presenta en la naturaleza en ocho formas isotópicas: cuatro de ellas son estables y las otras cuatro son radiactivas. Los isótopos estables plomo 206, plomo 207 y plomo 208 son, respectivamente, los productos finales de las series de descomposición radiactiva del uranio, actinio y torio. El plomo 204, también estable, no tiene precursores radiactivos naturales.

El sulfuro de plomo (PbS) o galena es una excelente fuente de plomo. La galena suele darse junto con pequeñas cantidades de otros metales como cobre, cinc, plata y oro, que son susceptibles de obtenerse en explotaciones mineras.

El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta en forma de galena, que es sulfuro de plomo. Ocupa el lugar 36 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. La cerusita y la anglesita son sus menas más importantes después de la galena. La extracción del plomo de la galena se lleva a cabo por calcinación de la mena, convirtiéndola en óxido y reduciendo el óxido con coque en altos hornos. Otro método consiste en calcinar la mena en un horno de reverbero hasta que parte del sulfuro de plomo se transforma en óxido de plomo y sulfato de plomo. Se elimina el aporte de aire al horno y se eleva la temperatura, reaccionando el sulfuro de plomo original con el sulfato y el óxido de plomo, para formar plomo metálico y dióxido de azufre.

Una fuente importante de obtención de plomo son los materiales de desecho industriales, que se recuperan y funden. Debido a que la galena contiene normalmente otros metales, el plomo en bruto obtenido por procesos de fundición suele tener impurezas como cobre, cinc, plata y oro. La recuperación de metales preciosos de las menas de plomo es a menudo tan importante como la extracción del plomo en sí. El oro y la plata se recuperan por el proceso de Parkes, en el cual al plomo fundido, junto con sus impurezas, se le añade una pequeña cantidad de cinc. Esta aleación fundida aflora a la superficie del plomo en forma de una capa fácilmente separable, extrayendo el cinc del oro o de la plata por destilación. El plomo en bruto suele purificarse removiendo plomo fundido en presencia de aire. Los óxidos de las impurezas metálicas suben a la superficie y se eliminan. El plomo más puro se obtiene refinando electrolíticamente.

El plomo se emplea en grandes cantidades en la fabricación de baterías y en el revestimiento de cables eléctricos. También se utiliza industrialmente en las redes de tuberías, tanques y aparatos de rayos X. Debido a su elevada densidad y propiedades nucleares, se usa como blindaje protector de materiales radiactivos. Entre las numerosas aleaciones de plomo se encuentran las soldaduras, el metal tipográfico y diversos cojinetes metálicos. Una gran parte del plomo se emplea en forma de compuestos, sobre todo en pinturas y pigmentos.

Los principales depósitos de plomo se encuentran en la antigua URSS, Australia, Estados Unidos, Canadá, México, Perú y España, que ocupa el duodécimo lugar en cuanto a producción minera. Estados Unidos es el mayor consumidor (alrededor de la mitad de la producción de plomo) y en el pasado llegó a producir un tercio del total mundial. Desde el final de la II Guerra Mundial en 1945, las vetas más ricas de galena se han ido agotando, y los Estados Unidos han visto enormemente reducida su producción de plomo.

El carbonato de plomo básico,  $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$ , llamado blanco de plomo o albayalde, ha sido utilizado como pigmento blanco desde hace 2.000 años. También se utiliza en otros pigmentos y barnices para cerámica. Últimamente, a causa del peligro de envenenamiento, la pintura a base de plomo ha dejado de usarse en espacios interiores. El llamado proceso holandés es el método en uso más antiguo para obtener blanco de plomo. En este proceso, se recubren ollas de barro, conteniendo rejillas de plomo y ácido etanoico, con cascás (pequeños trozos de cortezas ricas en taninos); la reacción de las cascás al fermentar y del ácido etanoico produce plomo al cabo de un periodo de unos 90 días. Hoy existen procesos industriales más rápidos, como la electrólisis o la introducción de aire y dióxido de carbono en grandes cilindros rotatorios llenos de plomo en polvo y ácido etanoico.

El monóxido de plomo ( $\text{PbO}$ ), o litargirio, un polvo cristalino amarillo formado al calentar plomo en presencia de aire, se usa para hacer cristal de roca, como desecante de aceites y barnices, y para elaborar insecticidas. El plomo rojo ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), o minio, un polvo cristalino escarlata formado por oxidación del monóxido de plomo, se utiliza como capa protectora en estructuras de hierro y acero.

El cromato de plomo ( $\text{PbCrO}_4$ ), o amarillo de plomo, un polvo cristalino empleado como pigmento amarillo, se prepara por reacción del acetato de plomo con dicromato de potasio. El cromo rojo, el cromo amarillo naranja y el cromo amarillo limón son algunos de los pigmentos obtenidos del cromato de plomo. El etanoato de plomo (II),  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , una sustancia cristalina blanca, llamada azúcar de plomo por su sabor dulce, se prepara comercialmente disolviendo litargirio en ácido etanoico. Se emplea como agente cáustico en tintes, como desecante de pinturas y barnices, y para elaborar otros compuestos de plomo. El tetraetilplomo,  $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ , es el principal ingrediente del antidetonante que se añade a la gasolina para evitar detonaciones prematuras en los motores de combustión interna, y está considerado un agente contaminante del aire.

El plomo ingerido en cualquiera de sus formas es altamente tóxico. Sus efectos suelen sentirse después de haberse acumulado en el organismo durante un periodo de tiempo. Los síntomas de envenenamiento son anemia, debilidad, estreñimiento y parálisis en muñecas y tobillos. Las escamas de pinturas con base de plomo y los juguetes fabricados con compuestos de plomo están considerados como muy peligrosos para los niños, para los que el plomo resulta especialmente dañino, incluso a niveles que antes se consideraban inocuos. El plomo puede producir disminución de la inteligencia, retraso en el desarrollo motor, deterioro de la memoria y problemas de audición y equilibrio. En adultos, el plomo

puede aumentar la presión sanguínea. En la actualidad, los envenenamientos por plomo se tratan administrando una sal de sodio o calcio del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA). El plomo se elimina del organismo desplazando el calcio o el sodio y formando un complejo estable con EDTA que se evacúa por la orina.

**ANEXO III Principales estudios de metales en algas en zonas costeras.**

<b>Especie</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Sitio</b>	<b>Referencia</b>
<i>Caulerpa prolifera</i>		33		17-31	contaminadas en España	Sanchiz, <i>et al.</i> 2000
<i>Ulva lactuca</i>		5.2		3.68	Golfo de San Jorge (contaminación)	Muse <i>et a.</i> 1999
		1.98		1.73	no contaminado	
<i>Enteromorpha prolifera</i>		12.5		6.1	contaminado	
		4.92		4.1	no contaminado	
<i>Macroalgas 8 sp</i>	171-2486	30.3-38.2	9.7-409	0.16-3.2	Canadá, Québec algas para consumo humano	Phaneus, <i>et al</i> 1999
<i>Caulerpa prolifera</i>		<50		5.0-35	Este de costa de España	Sanchiz, <i>et al.</i> 1999
<i>Ceramium rubrum</i>		77.6		15.8		Hou, X. 1998
<i>Ulva lactuca</i>		16				
<i>Puncyaria plantagiea</i>		23.2				
<i>Desmarestia viridis</i>		21.1				
<i>Ulva rigida</i>	84.7-119.3	39-82.5		6.3-29.8	Grecia desagües domésticos e industriales	Haritonidis y Malea, 1999
<i>Varias especies (rango)</i>	340-4810	15-610	10-190	0.1-14.9	Costas de Kuwait	Buo-Olayan y Subrahmanyam, 1996
<i>Caulerpa prolifera: frondas</i>	91	21	9.8	0.05	Costas francesas	Gnassia-Barelli, <i>et. al.</i> 1995
<i>Caulerpa prolifera: estolón</i>	471	19	31.7	3.3		
<i>Caulerpa taxifolia:fronda</i>	305	59	3.7	0.3		
<i>Caulerpa taxifolia: estolon</i>	694	21	7.6	0.25		
<i>Cladophoropsis membranacea</i>		>150<200		<10	Laguna de Sontecomapan (no contaminada)	González -Fierro, <i>et al.</i> 1994
<i>Codium decorticatum</i>		39.2		5	Actividades industriales en Brasil por 30 años	Karez <i>et al.</i> 1994
<i>Ulva fasciata</i>		42.7		3.6		
<i>Spatoglossum schroedri</i>		105.8		6		
<i>Padina gymnospora</i>		307		4.2		
<i>Gracilaria sp 1</i>		96.5		5.2		
<i>Gracilaria sp 2</i>		69		6		

<i>Especie</i>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Sitio</b>	<b>Referencia</b>
<i>Sargassum stenophyllum</i>		108.4		2.9		
<i>Spyridia clavata</i>		150		6.3		
<i>Acanthophora spicifera</i>		102.8		7.3		
<i>Hypnea sp.</i>		61		3.5		
<i>Ulva lactuca</i>	622	47.55	16.76	10.37	Bosphorus entrada entre el mar negro y el mar de Aegean (aguas urbanas e industriales)	Guven <i>et al.</i> 1993
<i>Cystoseira barbata</i>	598.2	57.82	10.84	12.67		
<i>Enteromorpha compressa</i>	1441	68.45	31.69	18.43		
<i>Ceramium rubrum</i>	2153	60.59	19.68	11.37		
<i>Ulva lactuca</i>		66.9		15.4		
<i>Enteromorpha compressa</i>		68.4		18.4		
<i>Cystoseira barbata</i>		78.6		17.3		
<i>Scytociphon lomentaria</i>		81.6		16.7		
<i>Chaetomorpha linum</i>	3042	28.13	51.69	8.36		
<i>Ulva rigida</i>	1159	8.95	27.095	8.77		
<i>Cystoseira barbata</i>	1041.4	62.26	41.67	7.87	Mar negro zona contaminada	Guven <i>et al.</i> 1992
<i>Phillopora nervosa</i>	817-1336	71-98	92.11-115.41	9.53-21.5		
<i>Coralina granifera</i>	206-2203	33.2-59.3	16.59-71.45	24.56		
<i>Gracilaria verrucosa</i>	781-2777	31.4-73.4	40.41-149.98	6.76-7.95		
<i>Pterclodia capillacea</i>	529-881	48.9-68.7	33.23-34.71	6.35-9.72		
<i>Cystoseira myrica</i>		5.7		1.5	Costa de Katar	Kureishy 1991
<i>C. Indica</i>		2.1		0.6		
<i>Hormophysa triqueta</i>		13.6		1.7		
<i>Cystocera sp.</i>		59.1				Catsiki <i>et al.</i> 1991
<i>Padina povonica</i>		37.3				
<i>Codium tomentosum</i>				1.7-4.6	Costas Italianas	Costantini, <i>et al.</i> 1991(citado en Gnassia-Barelli <i>et al</i> 1995)
<i>Ulva rigida</i>		8			Costas francesas	Gnassia-Barelli <i>et al.</i> 1991 (citado en Gnassia-Barelli <i>et al</i> 1995)
<i>Cladophora spp.</i>		25				

<i>Especie</i>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Sitio</b>	<b>Referencia</b>
<i>Ulva rigida</i>		81	125			
<i>Cladopora dalmatica</i>		61	126	5		
<i>Enteromorpha spp</i>		48	34	2	Costas del Adriático	
<i>Enteromorpha spp</i>		42	215	6		
<i>Enteromorpha spp</i>		14	24	9		Munda y Hudnik, 1991
<i>Macroalgas</i>	43.3	5.4	7.4	1.1	Cstotas de Qatar	Phillips 1991
<i>Cladophora albida</i>		7.8			Costa griega	Haritonidis y Nikolaidis, 1990 (citado en Gnassia-Barelli et al 1995 )
<i>Cladophora albida</i>		18.3				Ho Y. B. 1990 (citado por Phaneuf et al. 1999)
<i>Ulva lactuca</i>		71		69		
<i>Cholorophytas promedio incluye caulerpas</i>	467	118	19.86		ambas	Xiomara <i>et al.</i> 1990
<i>Colpomenia sinuosa</i>		6.3		0.71		
<i>Cystocera trinodis</i>		5.5		0.95		
<i>Dyctiota divaricata</i>		12.4		2.9		Denton, <i>et al.</i> 1986
<i>Padina australis</i>		9.5		5		
<i>Turbinaria ornata</i>		2.6		0.71		
<i>Concentración promedio</i>		5.8		2.4	Gran Barrera Arrecifal	Denton y Burdon 1986
<i>Caulerpa prolifera</i>	655	110		19.6	Costas Italianas	Castagna, <i>et al.</i> 1985
<i>Caulerpa prolifera</i>	1715	45		14.4		
	4390.6-				SO de Finlandia costas arenosas y rocosas una comparación	
<i>Cladophora glomerata</i>	13571.9	58.9-74.9	751.4-976.4			Aulio, 1983
<i>Sargassum cymosun</i>		18	95.8	9.7		
<i>Dictyota cervicornis</i>		25.9	70.3	13.5		
<i>Caulerpa racemosa</i>		21.3	50.6	21.9	no contaminada en Bahía de Ribera Brasil	
<i>Galaxaura marginata</i>		21.9	91.5	17.4		
<i>Pterclodia capillacea</i>		21.7	30.3	19.2		
<i>Acanthophora spicifera</i>		19.6	38	13.2		Davée <i>et al.</i> 1982

<i>Especie</i>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Pb</b>	<b>Sitio</b>	<b>Referencia</b>
<i>Dichyota volubilis (El verde)</i>		61.99		25.93	Veracruz, Isla Verde y Gallega	Tovar, 2000
<i>Enteromorpha crinita (Gallega)</i>		67.48		38.85	Islas de coral Pacifico SO	
<i>Ulva lactuca</i>		55				Pulich 1980 (citado por Gonzáles-Fierro, et al. 1994)
<i>Ulva fasciata</i>		80				
<i>Fucus distichus</i>		138		1	Sitio de dragado	Bhon, 1979
<i>Fucus vesiculosus</i>	100.2	126.11		19.4	En el sureste de Suecia y Dinamarca en el Mar Baltico	Phillips 1979
<i>Halimeda tuna</i>	215.6-2074.2	18.8-151.9		7.5-90.8	Beirut, Libano	Shiber, 1980
<i>Ulva lactuca</i>	445.3-595.3	41.3-206.3		7.5-37.5		
<i>Chaetomorpha brychagona</i>	114-10346	19-32	57-512	10-24.0	[ ] altas áreas contaminadas, [ ] bajas áreas no contaminadas	Wong <i>et al.</i> 1979
<i>Enteromorpha crinita</i>	143-6772	13-18	4-226	3.0-18	Sorfjorden, Noruega cerca de una planta fundidora	
<i>Fucus vesiculosus</i>		2207-3090		27.5-163.3		Melhuus, <i>et al.</i> 1978
<i>Ascophylum nodosum</i>		2028-3700		10.4-85		
<i>Fucus serratus</i>		3500-4400		35		
<i>Enteromorpha spp</i>		950-6233		17-301.5		
<i>Chorda filum</i>		1580-6950		15-129.5		
<i>Halimeda tuna</i>	215.6->8878.1			38.3-90.8	costas contaminadas de Beirut	Shiber y Shatila, 1979
<i>Laminaria digitata</i>		93		20		Black y Mitchell 1952 (citada en Shiber y Shatila, 1979)
<i>L.cloustoni</i>		59		13		
		76.1			Veracruz, Isla Verde y Gallega	
<i>Dyctiota guineensis (IV)</i>				32.9		Acosta, 2002
<i>Dyctiota guineensis (G)</i>		107		45.5		