

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---



*FES IZTACALA*

METALES PESADOS EN UN SISTEMA BENTÓNICO DE  
DOS ARRECIFES DE CORAL DE VERACRUZ, VER.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ACOSTA GONZÁLEZ GILBERTO

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. GUILLERMO J. HORTA PUGA





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.



U.N.A.M. CAMPUS

## **DEDICATORIA**

---

A mi madre Carmen González por enseñarme a luchar todos los días para lograr alcanzar nuestros sueños. A mi Padre Gilberto Acosta por su esfuerzo realizado para ver consumado nuestro éxito.

A mis sobrinos, Rhamses y Claudio, que con su sola presencia este mundo tiene sentido.

A mis dos hermanas por estar siempre a mi lado.

A Sagrario por su amor y amistad incondicional y por ser una de las razones de mi existir hoy y siempre.

A mi amor eterno "La calle" que me dio tantas alegrías y tristezas y las herramientas para intentar ser siempre el mejor.

A mis amigos de siempre: Oscar Tellez, Miguel Ángel Nava , J. Israel Tellez, Fidel Sánchez, V. Hugo Martínez, Cesar A. Cisneros, Victor M. Martinez Vertiz, Edgar Tovar, Cesar A. Sánchez, Delia I. Rojas, Ignacio Leyva, Luis M. Guevara, Roberto C. Hernandez, Nidia Cabal y Silvia Pasos que sin ellos mi historia no estaría completa.

**IZT.**

## ***AGRADECIMIENTOS***

---

A la Universidad Nacional Autónoma de México (C.C. H. Vallejo y FES Iztacala) por darme la oportunidad de desarrollarme académicamente y de la cual me encuentro muy orgulloso de haber formado parte.

A la Fundación UNAM por brindarme el apoyo para la realización de este trabajo.

A todos los profesores que durante mi vida académica han contribuido a mi desarrollo y muy especialmente a el Biol. Roberto Rico que desde mi primer día en la universidad me impulso a ser el mejor.

A la Dra. Patricia Dávila y a la UBIPRO por brindarme la confianza de realizar esta tesis.

A mi director de tesis y amigo el M. C. Guillermo J. Horta Puga por la oportunidad de estar en su equipo de trabajo y darme su confianza para realizar esta tesis y por mostrarme lo fascinante que son los arrecifes de coral.

Al M. C. Cesar Mateo Flores Ortiz, M.C. Sergio Cházaro, Biol. Hugo V. Perales Vela y al Biol. José L. Tello Musi , mi agradecimiento por los comentarios realizados a este trabajo los cuales contribuyeron a su enriquecimiento.

Al M. C. Elsa Noreña por sus comentarios al trabajo así como por su amistad.

A mis compañeros de equipo de trabajo INVEMAR de la UBIPRO (FES IZTACALA), especialmente a el Biol. Edgar Tovar por su apoyo en las actividades de campo y laboratorio, pero principalmente por nuestra amistad.

Al Dr. Juan Pablo Carricart y al Dr. J. Ernesto Arias por la confianza que de ellos recibí y sobre todo por su amistad.

A mis compañeros de equipo de trabajo del LEEAC CINVESTAV unidad Mérida: Miguel, Rodrigo, Gerardo, Enrique, Gaby y Lyn, en especial a mis amigos Nestor Membrillo, Quetzalli Sotelo y Silvia Pasos.

A mi amigo Roberto C. Hernández (el pomo), por enseñarme que aunque se nos presente cualquier adversidad siempre debemos luchar por realizar lo que nos proponemos.

A Oscar Tellez ( la negra) por ser mi mejor amigo.

A los hermanos Escalona González, Javier Estrada, Zorobabel Jiménez, Israel Jiménez, Fabián Rivera, Jorge Novelo y Noelia Jiménez mi gratitud por su apoyo y amistad.

A mis padres que nunca bajan los brazos ante cualquier adversidad, a mis hermanas y a mis sobrinos. A mi tío Gabriel Acosta y su familia que los amo tanto.

A mi Dios, gracias.

A los BIOSFERANOS y a los simples mortales por intentarlo.

## INDICE

RESUMEN.....	I
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	6
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	9
DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....	11
MATERIAL Y MÉTODOS	
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	14
COLECTA DE MUESTRAS.....	14
TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS.....	15
DIGESTIÓN.....	17
ANÁLISIS.....	18
MANEJO DE LOS RESULTADOS.....	21
RESULTADOS.....	22
DISCUSIÓN.....	30
CONCLUSIONES.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXO.....	50

## RESUMEN

Uno de los factores importantes dentro de los ciclos biogeoquímicos son los elementos materiales ya que algunos son esenciales para plantas y animales. Es a través de los ciclos biogeoquímicos que se asegura la distribución de estos elementos en los ecosistemas. Entre ellos se encuentran los elementos considerados como metales pesados, muchos de los cuales son esenciales en cantidades traza. Como consecuencia del desarrollo urbano e industrial, el aumento de los metales pesados en los ecosistemas marinos trae como consecuencia problemas de contaminación produciendo daños a los organismos que habitan los ecosistemas marinos como son los arrecifes de coral. Este estudio se realizó en el arrecife Isla Verde y el arrecife La Gallega que pertenecen al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV). En cada uno de los arrecifes se colectaron muestras de sustrato coralino, algas (*Dyctiota guineensis*) y del erizo de mar de la especie *Echinometra lucunter*. Se obtuvieron las concentraciones ( $\mu\text{g/g}$  de peso seco) de Al, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn a través de espectrofotometría de absorción atómica por el método de flama y el método electrotérmico de las muestras de sustrato coralino, algas y del esqueleto, gónadas y tracto digestivo del erizo de mar. Las muestras previamente fueron digeridas en un horno de microondas, utilizando mezclas de ácidos y agua deionizada dependiendo del tipo de muestra. Las tendencias fueron que existen concentraciones mayores de Ni (en sustrato coralino) y Al (en el resto de las muestras) y las concentraciones menores fueron obtenidas para el Cd y Cr. Las concentraciones de los metales en los diferentes tipos de muestras fueron comparadas con la literatura, mostrando que las registradas en los arrecifes del puerto de Veracruz son altas, aunque en este estudio se buscaba una correlación entre las diferentes muestras, solo se encontró correlación significativa entre las concentraciones de Ni en algas y tracto digestivo. Al comparar las concentraciones de ambos arrecifes estudiados por medio de un ANOVA de una vía ( $p < 0.05$ ), se encontró diferencias significativas solo en el caso del Cd y el Cu. Se concluye que el Puerto afecta de igual manera con respecto a la contaminación por metales pesados a ambos arrecifes y aunque el arrecife La Gallega presenta una mayor concentración en ciertos metales también es un hecho que el arrecife Isla Verde presenta altas concentraciones y por lo tanto ambos arrecifes presentan problemas de contaminación por metales pesados.

## INTRODUCCIÓN

El flujo de energía y materia es esencial para las poblaciones de plantas y animales, así como las estructuras de las redes tróficas son influenciadas por la limitación del flujo de energía y materia ( Elton 1927; Lindeman 1945), ya que los componentes autótrofos incrementan su biomasa a través del proceso de producción primaria, la cual involucra la fotosíntesis y la asimilación de nutrientes tanto en iones como en moléculas y los consumidores o heterótrofos componentes del ecosistema, incluyen herbívoros, carnívoros, omnívoros y parásitos que consumen la biomasa de otro organismo para usarla como energía y materia prima para la elaboración de su propia biomasa.

La energía es sumamente importante en la naturaleza ya que tienen gran importancia en el patrón y dinámica de las redes tróficas. Otro factor muy importante son los nutrientes o bioelementos que son esenciales como elementos materiales para el crecimiento de plantas y animales (DeAngelis 1992). Además de depender de la energía la vida depende de la disponibilidad de unos veinte elementos necesarios para la dinámica de los procesos vitales de la mayoría de los organismos y aproximadamente diez son requeridos normalmente en cantidades mínimas y trazas ( Kormondy 1994).

La entrada de nutrientes transportados por el agua, el viento y los organismos dentro del ecosistema y las pérdidas de nutrientes son procesos esenciales. Al estudio del flujo de elementos biológicamente esenciales entre componentes bióticos y abióticos de un sistema es referido como biogeoquímica (DeAngelis 1992). Los ciclos biogeoquímicos son importantes porque aseguran que la distribución de algunos elementos dentro de un ecosistema sean relativamente constantes en el tiempo (Krusz 1991).

Entre los elementos materiales se encuentran los metales. Los elementos llamados metales pesados están ubicados en el grupo B (elementos de transición ) y en los periodos 4, 5, y 6 de los grupos III y IV del grupo A de la tabla periódica, con



densidades mayores a los  $5 \text{ g/cm}^3$  (Foster y Wittman 1979) . Muchos metales son importantes para la sobrevivencia de los organismos, por ejemplo los pigmentos respiratorios encontrados en invertebrados contienen hierro, los pigmentos respiratorios de muchos moluscos y crustáceos (hemocianina) contienen Cu, muchas enzimas contienen Zn y la vitamina B<sub>12</sub> contiene cobalto. Los metales implicados biológicamente pueden ser divididos en tres grupos: A) metales ligeros (tales como el sodio, potasio y calcio), que son normalmente transportados como cationes móviles en solución acuosa. B) metales de transición (tales como el hierro, cobre, cobalto, magnesio) que son esenciales en bajas concentraciones pero pueden ser tóxicos en altas concentraciones y C) los metaloides (tales como el mercurio, plomo, arsénico y estaño) que generalmente no son requeridos para las actividades metabólicas y son tóxicos en las células a muy bajas concentraciones (Clark 1997)

Es posible que enzimas específicas estén presentes en los organismos, las cuales descomponen los quelatos de los metales esenciales y permiten a éstos ser asimilados. Los elementos esenciales son retenidos en el quelato en forma no tóxica hasta que gradualmente son descargados al agua mediante diferentes procesos de excreción (Riley 1989 y Pérez 1980). Cuando mueren los organismos el ataque bacteriano regresa los elementos traza al agua, tal vez inicialmente en forma de complejos orgánicos, una posterior descomposición de estos complejos libera especies coloidales o iónicas de los elementos, existiendo una pérdida neta de elementos traza por el mar a través de la actividad biológica mediante las partes resistentes de algunos organismos, tales como conchas, esqueletos, etc. (Riley 1989).

Los metales se encuentran por toda la tierra en rocas, suelo y sedimento y por medio de procesos naturales pequeñas cantidades de metales son removidas de su lugar de origen y transportadas a otros (Kruss 1991). Los principales procesos que aportan metales al medio marino son el intemperismo o meteorización de las rocas, la gasificación, el vulcanismo terrestre y submarino y los procesos relacionados con los sedimentos marinos (Páez Osuna 1996). Una ruta importante por la cual algunos metales entran al mar es por la vía atmosférica, ésta es una entrada natural de metales. Los metales descargados a la atmósfera pueden estar como gases (Hg, Se y B) o como

aerosoles. El tiempo de duración que un contaminante se encuentra en la atmósfera y la distancia que viaja en la masa de aire depende de su reactividad, su densidad y de si es un gas o una partícula. Por ejemplo, el tiempo de residencia del Pb, es aproximadamente de cinco días. Los metales son depositados en la superficie del mar por precipitación de partículas ( depositación seca) o son lavadas de la columna de aire por precipitación pluvial (depositación húmeda) . Otra ruta muy importante son los ríos, la entrada natural depende en la ocurrencia de metales y materiales depositados en el área de desagüe y si un río pasa a través de áreas urbanas la carga de metales es aumentada por desechos y descargas de origen antropogénico. Muchas pequeñas cantidades de metales son adicionadas al mar por descargas directas de industrias y otros desechos (Clark 1997)

Los metales tienen impacto en los organismos acuáticos dependiendo si se encuentran en una forma disponible biológicamente (Waldichuk 1985) El estado de especiación de los metales pesados en el medio acuático es difícil de establecer. El término especiación se refiere a la forma física y química particular en que un elemento se encuentra (Foster y Wittman 1979). La forma biológica disponible de los metales es usualmente la forma iónica. Los metales en su forma pura se encuentran normalmente disponibles para los organismos marinos si éstos llegan a oxidarse y si los productos de la oxidación son solubles en el agua de mar. Los metales en forma particulada, tanto suspendidos en agua como en el sedimento, rara vez están directamente disponibles para los organismos acuáticos. Tales metales pueden hallarse fijados en un medio orgánico o en una matriz inorgánica. Los metales en su forma mineral pueden ser lixiviados dentro del agua química ó microbiológicamente.

Los organismos acuáticos son sometidos continuamente a cambios químicos en su ambiente, incluyendo la captación y excreción de nutrientes y elementos tóxicos. Estos procesos tienen gran importancia no sólo para los organismos, sino además para los elementos concernientes, ya que muchos metales traza en el océano son controlados biológicamente (Adriano 1992). El reconocimiento de la captación de metales traza por organismos acuáticos está en función de la especiación química de los elementos biológicamente disponibles; éstos representan una fracción del total de los metales traza disponibles para la captación. La disponibilidad biológica es esencialmente un concepto

químico que ignora la complejidad de los procesos biológicos involucrados. Sin embargo, esto ofrece un medio para relacionar la química y biogeoquímica de los elementos traza (Turner 1986). Es inevitable el uso de los metales así como la contaminación asociada con éstos, muchos metales dentro del ambiente son cuantitativamente altos debido a las fuentes antropogénicas. El mayor problema asociado con la excesiva liberación de metales dentro del ambiente es que los metales no son biodegradables y pueden acumularse en el ecosistema y en las cadenas tróficas (Kruss 1991). A lo largo de cada paso de la cadena trófica, la concentración de metales en los tejidos de los organismos se incrementa (Cockerham 1994).

Como consecuencia del continuo desarrollo urbano e industrial, una gran variedad de materiales naturales y sintéticos entran en grandes concentraciones al medio marino. Entre estos materiales, uno de los principales agentes de contaminación de las zonas costeras son los metales pesados (Mandelli, 1979). El Golfo de México, como la mayoría de los mares de la tierra está contaminado. Específicamente en Veracruz, la existencia del puerto, uno de los más importantes del país por las actividades comerciales y de tránsito que allí se realizan, y siendo al mismo tiempo una ciudad industrial, cuyos desechos en conjunto con los de la zona urbana son vertidos al mar (González de la Parra 1984), trae como consecuencia problemas de contaminación los cuales producen daños considerables a los organismos que lo habitan (Páez-Osuna y Botello 1986). Algunos de los organismos que pueden ser afectados son los que habitan los sistemas arrecifales, los cuales se encuentran localizados frente al Puerto de Veracruz y que pertenecen al Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV).

El conocimiento del efecto de los metales pesados sobre los arrecifes de coral es relativamente limitado, las evidencias disponibles sugieren que la exposición crónica por niveles elevados de metales da como resultado la producción de moco, retracción de los pólipos, blanqueamiento parcial y en situaciones extremas, la muerte. Otros residentes de la comunidad coralina también acumulan metales pesados. Tales organismos tienen un gran potencial como indicadores de contaminación por metales pesados ya que ellos pueden concentrarlos en muy altos niveles (algunos del orden de

partes por mil) que aparentemente no tienen efectos deletéreos y solo algunos pocos son depurados (Connell 1993).

El empleo de diversos organismos acuáticos que acumulan metales traza en sus tejidos y que por lo tanto pueden ser analizados para monitorear la biodisponibilidad de tales sustancias son denominados bioindicadores. Los biomonitores proveen medidas de los niveles de metales disponibles en su ambiente acuático en general acumulan metales traza en altas concentraciones que puede ser relativamente fáciles de medir (Rainbow 1993) . Debido a que en general el conocimiento de los metales traza en arrecifes de coral es limitado y a que es muy pobre el conocimiento que se tiene acerca de los ciclos biogeoquímicos de éstos dentro de sistemas arrecifales coralinos, se consideró relevante evaluar las concentraciones de metales traza en algunos compartimientos ambientales dentro de un sistema arrecifal coralino, así como evaluar la relación entre la concentración de metales entre los distintos compartimientos ambientales elegidos en este estudio.

## ANTECEDENTES

Entre los años 1920 y 1930 inició el interés por los metales por parte de los fisiólogos, pero no fue sino hasta el período de la posguerra (después de la primera guerra mundial) cuando creció el interés concerniente con el exceso en las concentraciones de elementos en el ambiente como consecuencia de emisiones antropogénicas y es cuando muchos elementos son convencionalmente agrupados como metales pesados. El punto crítico se dió cuando en Japón se presentó en la bahía de Minamata un envenenamiento en personas por altas concentraciones de mercurio en peces y posterior a este evento se presentó un envenenamiento, ahora por cadmio (Itai-Itai) en una villa Japonesa en el río Jintsu (Adriano 1992 y Clark 1996). Desde entonces el interés acerca de los metales pesados en el ambiente marino ha adquirido relevancia. La mayoría de los trabajos realizados en el ambiente acuático concernientes con metales pesados se desarrollan principalmente con el objetivo de evaluar las cantidades elementales, pero son pocos los trabajos que abordan su dinámica en el ambiente. Los elementos sobre los cuales se han enfocado algunos estudios para detallar sus ciclos biogeoquímicos y transferencia en la red trófica son principalmente el C, N, y P (William 1997 y DeAngelis 1992).

Los trabajos realizados en ambientes acuáticos generalmente abordan a un solo componente de la biota, estudiando las concentraciones de metales que se presentan y en algunos trabajos estudian el medio de captación de éstos.

El estudio de los metales pesados en arrecifes de coral es muy limitado y nulo en el aspecto de ciclos biogeoquímicos., sin embargo, al evaluar las concentraciones de metales en el medio marino, en general aportan información relevante al estudio de la dinámica y transferencia trófica de los metales pesados. De estos trabajos se destacan los realizados en medios arrecifales por Horta-Puga y Palacios (1996) al obtener los niveles de plomo en el esqueleto del coral *Montastrea annularis* en un arrecife perteneciente al Sistema Arrecifal Veracruzano, Guzmán y Jiménez (1992) determinaron los niveles de metales pesados en arrecifes de las costas de Centro América; Scott y Davis(1997) realizaron un estudio de la contaminación industrial en

comunidades marinas entre ellas los arrecifes de coral y Esslemont (2000) determinó los niveles de metales pesados en corales de Townsville, en el parque marino de la Gran Barrera Arrecifal.

En sedimento marino Lyons et al. (1983) obtuvieron las concentraciones de metales traza (Cu, Pb y Zn) en sedimentos presentes en áreas afectadas por actividades antropogénicas. Greenaway y Jones (1992) obtuvieron los niveles de 24 elementos en los sedimentos de las costas de Jamaica, entre los elementos evaluados se encuentran diversos metales pesados. Brady et al. (1994) realizaron un estudio en el cual midieron las concentraciones de Cu, Mg, Ca y Zn en sedimentos superficiales a lo largo de 18 km en la región de Cairns en la Gran Barrera Arrecifal en Australia. Fierro et al. (1994) determinaron los niveles de Cu, Co, Cr, Ni, Zn, Cd y Pb en los sedimentos y organismos de la laguna de Sontecomapan, Veracruz. Bastidas et al. (1999) obtuvieron la tasa de sedimentación así como los niveles de algunos metales pesados en sedimentos de los arrecifes de coral de Venezuela. Campbell y Tessier (1990) realizaron un análisis de la acumulación de metales pesados en sedimentos, donde encuentra que estos son potencialmente dañinos para los organismos bentónicos.

En algas marinas destacan los trabajos realizados por Bohn, A., (1979) el cual obtuvo las concentraciones de metales traza en una alga y en un erizo de mar de un depósito de minerales de Pb y Zn; Denton, G.R.W. y Burdon-Jones, C., (1986) evaluaron los niveles de metales traza en algas de la Gran Barrera Arrecifal; Ho Y. B. (1990) determinó a *Ulva lactuca* como bioindicador por contaminación de metales en Hong Kong; Catsiki et al. (1991) evaluaron los niveles de metales pesados en flora marina bentónica; Kureishy (1991) determinó las concentraciones de metales pesados en algas de las costas de Qatar; Güven et al. (1992 y 1993) han realizado dos trabajos en los cuales ha obtenido los niveles de metales pesados, tales como Cd, Cr, Ni, Zn, etc., en diversas especies de algas y pastos marinos en regiones del mar negro. Bo-Olayan y Subrahmanyam (1996) evaluaron los metales pesados en algas marinas de las costas de Kuwait y Hou y Yan (1998) estudiaron la concentración y la variación estacional de varios elementos inorgánico, entre ellos varios metales pesados, en 35 especies de algas marinas

Son importantes los estudios realizados en equinodermos por Stevenson y Ufret (1966) al obtener los niveles de Fe, Ni y Mn en dos especies de erizo de mar, así como los niveles de estos metales en una especie de alga y de pastos marinos las cuales son la fuente de alimento de los erizos. Riley y Segar (1970) realizan una recopilación de la distribución de elementos mayores y menores en equinodermos. Tamara *et al.*, (1995a, 1995b y 1999) han realizado estudios acerca de la captación de Pb en el esqueleto de erizo de mar, así como las variaciones en las concentraciones de metales pesados y la cuantificación de mataloteoninas como resultado de la exposición natural y experimental de Cd.; Warnau M. *et al.* (1995) experimentaron en el erizo de mar *Paracentrotus lividus* contaminación por cadmio y en 1996 estudio la biocinética en la selección de metales pesados y radionuclidos en *P. lividus* en el mar Mediterráneo; años mas tarde (1998) estudiaron las concentraciones de metales pesados en la misma especie relacionandola con pastos marinos. Sadiq *et al.* (1996) estudiaron la bioacumulación de Cd, Cu, Cr, V, Ca y Sr en el erizo de mar *Echinometra mathei* del Golfo de Arabia; Auernheimer *et al.*, (1997) estudiaron los esqueletos de erizo de mar como indicadores de contaminación por metales pesados; y Ablanado *et al.*, (1990) realizo un estudio con *E. lucunter* para determinar las concentraciones de Fe, Zn, Mn, Cu, y Hg en el litoral de la ciudad de Cuba. Flammang *et al.* (1997) obtuvieron las concentraciones de Zn, Pb, Cd, Fe, Cr, Cu y Ti medidos en diversos compartimientos del cuerpo del erizo de mar *Diadema setosum* del los arrecifes de coral de Singapur.

## **HIPOTESIS**

Dado que el substrato coralino sirve como sitio de asentamiento y como suministro de elementos a los productores primarios (algas filamentosas) y estos últimos forman parte de la biomasa de los consumidores primarios al ser consumidos, se espera que las concentraciones de metales pesados se incrementen en orden ascendente en los niveles tróficos existiendo así una relación entre estos componentes del sistema arrecifal. Además, dado que el arrecife La Gallega se encuentra más cercano al puerto y por tanto sometido a la influencia de las actividades humanas, los niveles de metales pesados serán mayores a los que se registren en Isla Verde.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Determinar si existe una relación entre los niveles de metales pesados en diferentes componentes del sistema directamente relacionados en el ecosistema arrecifal, así como determinar si las concentraciones de metales pesados se ven incrementadas en el arrecife más cercano al puerto de Veracruz (arrecife La Gallega). Así como contribuir al conocimiento del estudio de los metales pesados dentro de los arrecifes de coral.



## **PARTICULARES**

Determinar los niveles totales de Cu, Pb , Al, Cd, Ni, Cr y Zn en las gónadas, tracto digestivo y esqueleto del erizo de mar *Echinometra lucunter* (Linnaeus), en el alga *Dyctiota guineensis* (Kutzing, 1843) y los niveles biodisponibles (de los elementos antes mencionados) en el substrato coralino.

Determinar relación entre los distintos compartimientos ambientales con respecto a la concentración de Cu, Pb , Al, Cd, Ni, Cr y Zn.

Determinar si en el arrecife más cercano al puerto se ven incrementadas las concentraciones de metales pesados con respecto al arrecife más alejado.

## DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

En las costas del Golfo de México existe un sistema arrecifal ubicado frente al estado de Veracruz, el cual consiste de varias islas o bajos coralinos, de menos de 0.8 a 2.4 Km de longitud. El eje principal de casi todos los arrecifes está dirigido en una línea NO-SE o en una dirección paralela a la costa, una condición sin duda originada por la interacción de los vientos dominantes y las corrientes locales. Dicho sistema presenta tres grupos dispersos de islas arrecifales marginales (Inman y Nordstrom, 1971).

Hacia el norte del estado de Veracruz, el primer grupo se localiza al sureste de Cabo Rojo, frente a la laguna de Tamiahua y frente a Tuxpan, al noroeste de la desembocadura del río Tuxpan. El segundo y tercer grupos lo constituye el SAV, y se encuentran separados por la desembocadura del río Jamapa-Atoyac: el grupo del norte esta ubicado frente al Puerto de Veracruz y el grupo del sur se localiza frente a la Punta Antón Lizardo (Carricart-Ganivet y Horta -Puga 1993)

El grupo situado frente al Puerto de Veracruz alcanza una distancia máxima, a partir de la línea de costa, de 8 Km, en una franja comprendida desde Punta Mocambo ( $19^{\circ} 9'$ ) hasta el paralelo de  $19^{\circ} 15'$  (Tamayo 1962)

La Gallega forma parte de este grupo de arrecifes (Figura 1). Es un arrecife de tipo plataforma y se localiza a los  $90^{\circ} 13' 13''$  latitud norte y a  $96^{\circ} 07' 37''$  longitud oeste, actualmente se encuentra unido al puerto de Veracruz por una escollera construida a principios de siglo, su eje más largo es en dirección NW-SE con 2.37 km y su parte más ancha mide 1.25 km. En su extremo sur se encuentra construido el castillo de San Juan de Ulua y una serie de edificaciones para el funcionamiento adecuado del Puerto.

Isla Verde también forma parte del grupo de arrecifes que se encuentran situados frente al puerto de Veracruz (Figura 1). Se trata de un arrecife de tipo plataforma (Schuhmacher 1970, en Carricart-gavinet y Horta-Puga 1993) y se localiza a los  $19^{\circ} 11' 50''$  latitud norte y a los  $96^{\circ} 04' 06''$  longitud oeste, a 5.37 km de la costa, su eje más

largo es en dirección NO-SE con 1.12 km y su parte más ancha mide 750 m; en su extremo sur se presenta un pequeño cayo de 225 m de longitud y 125 m de ancho, conocido como Isla Verde (Carricart-Ganivet y Horta -Puga 1993).

La plataforma arrecifal de Isla Verde tiene una profundidad aproximada entre 1.0 y 1.6 m; el sustrato está formado de coral y arena de origen coralino, con restos de moluscos, principalmente. Dentro de la plataforma arrecifal se encuentran zonas bien delimitadas de arena, pastos y coral (Horta -Puga 1982).

El clima de la zona de estudio es considerado como caliente-húmedo con lluvias en verano (Lot-Helgueras 1968) y de temperatura media anual mayor a los 18° C correspondiendo al clima a (W2'')(W)(i') de García (1964).

El esquema climático del área de Veracruz se puede sintetizar en dos épocas del año (Villalobos 1971):

1) de septiembre hasta abril es un período caracterizado por una escasa precipitación, temperatura ambientales bajas y frecuentes invasiones de masas de aire provenientes del polo, por cuya fuerza pueden ser desde vientos frescos hasta violentos y huracanados.

2) de mayo a agosto se enmarca un período cálido caracterizado por temperaturas elevadas, altas precipitaciones entre junio, julio y agosto, y vientos débiles más o menos permanentes que soplan del este.

Al primer período se le conoce como de nortes y al segundo período de lluvias. Carricart-Ganivet y Horta -Puga (1993) mencionan que en las costas del Estado de Veracruz, la mayor parte del año los vientos dominantes son del noreste y del este, aunque pueden ser del sureste durante el verano; las invasiones de aire polar conocido como nortes se presentan de octubre a marzo en número de 15 a 20, con una duración de 2 a 6 días cada una y velocidades de 12 a 45 km /h, con rachas hasta de 110 a 120 km/h (datos del centro de prevenciones del Golfo de México, SARH, comisión Nacional del agua, Servicio Metereológico Nacional, para 1991). De agosto a octubre la zona sufre

un promedio de nueve huracanes, que provee la mayoría de las lluvias durante este período (Ferre-Dámare 1985), en Carricart-Ganivet y Horta –Puga 1993)

La circulación del Golfo de México está relacionada con la influencia de las aguas cálidas y salinas que constituyen a la corriente de lazo, las cuales entran a través del estrecho de Yucatán provenientes del mar caribe y salen por el estrecho de Florida. Parte del agua que penetra al Golfo por el canal de Yucatán se devuelve por una contracorriente (Armstrong y Grady 1967, en De la Lanza, 1991) y posee una temperatura superficial durante el verano de 28 a 29° C, que se reducen en el invierno a 25 y 26° C (De la Lanza 1991).

La oscilación de las mareas en la zona de Veracruz tiene aproximadamente un máximo de 84 cm y un mínimo de 24 cm (Villalobos 1971). La salinidad promedio en las aguas del Golfo de México es de 34 ‰ con una máxima de 39.3‰ y una mínima de 18.2‰ (De la Lanza 1991).

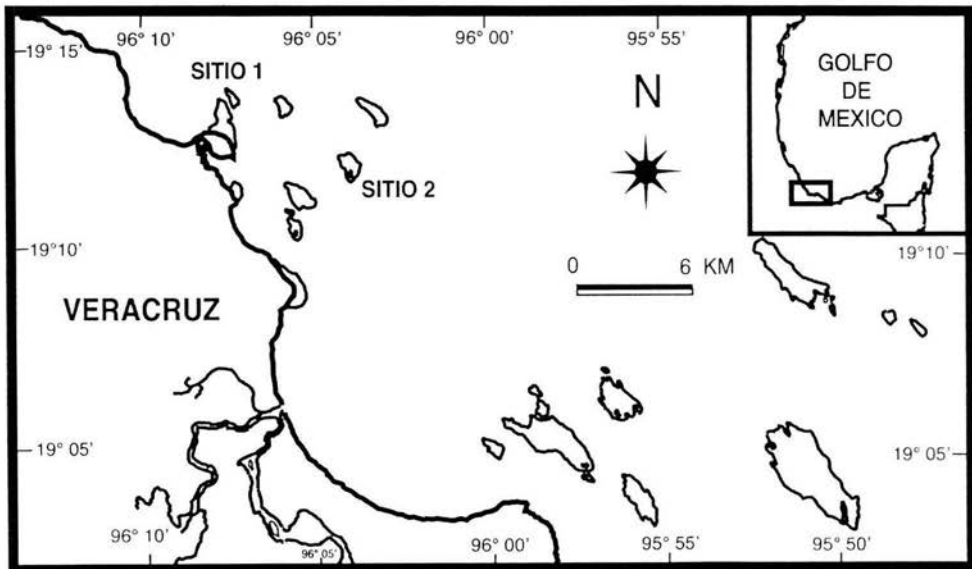


FIG 1. Mapa del área de estudio con los dos sitios de muestreo. SITIO 1= Arrecife La Gallega y SITIO 2 = Arrecife Isla Verde.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### DISEÑO EXPERIMENTAL

El muestreo se realizó en dos periodos, en los meses de abril y mayo de 1998. Se establecieron dos sitios de muestreo, el arrecife La Gallega el cual se encuentra cercano al puerto de Veracruz y el arrecife Isla Verde a 5.37 Km de la costa (Fig.1). La zona de muestreo se ubica en la planicie arrecifal del lado de barlovento muy cercano a la cresta arrecifal a una profundidad aproximada entre 1 y 2 metros. Se eligió esta zona debido a que en ésta existe substrato duro, el cual permite el crecimiento del alga *Dyctiota guineensis* ( Kützing 1843) y donde es muy común la presencia del erizo de mar *Echinometra lucunter* ( Hendlar 1995). Se ubicaron 10 sitios de muestreo en cada estación, considerando 10 metros de separación entre cada uno y siguiendo la morfología de la planicie arrecifal. Además se colectaron dos erizos de mar en cada sitio de muestreo con el fin de realizar repeticiones de las muestras de gónadas y tracto digestivo. En el caso de las algas y del substrato coralino se colectaron 25 g, ya que con esta cantidad es suficiente para realizar el análisis de metales pesados. Las muestras fueron colectadas con el supuesto de que forman parte de una red trófica dentro del sistema arrecifal, y que las muestras de sustrato coralino, algas (productores primarios) y el erizo de mar (consumidor primario) son parte de una cadena trófica .

### COLECTA DE MUESTRAS

#### EQUINODERMOS

La colecta se realizó a una profundidad de 1 a 2 m aproximadamente. Las muestras se colectaron usando equipo básico de buceo (aletas, visor y esnorquel). En cada sitio de muestreo se colectaron 2 erizos de mar adultos de la especie *E. lucunter* ( de entre 50 y 70 mm de diámetro) de forma manual. Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas y perfectamente limpias. Estas fueron cerradas perfectamente.

## **ALGAS**

De la periferia de cada erizo colectado ( esto dentro de un diámetro no mayor a 1 metro) se tomaron muestras de algas arrecifales filamentosas de la especie *Dyctiota guineensis* utilizando una espátula de plástico. Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno tratando de eliminar la mayor cantidad de agua posible.

## **SUSTRATO CORALINO**

Estas muestras fueron colectadas del mismo sitio donde se encontraban posadas las algas, utilizando un cincel y un martillo. Las muestras fueron colocadas en bolsas de polietileno, debidamente etiquetadas y perfectamente limpias.

Posterior a su colecta, todas las muestras fueron introducidas en un contenedor con hielo seco para conservar las muestras congeladas, éste fue cerrado y sellado para evitar la contaminación de las muestras. Posteriormente se transportaron al laboratorio de Biogeoquímica de la Unidad de Biología, Tecnología y Prototipos (UBIPRO) de la UNAM FES Iztacala. En el laboratorio se colocaron las muestras en un ultracongelador a  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior tratamiento.

## **TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS**

### **EQUINODERMOS**

Las muestras fueron sacadas del congelador y después lavadas perfectamente con agua deionizada. A los erizos se les quitó las espinas manualmente y por medio de una disección se les extrajeron las gónadas y el tracto digestivo, después de ser enjuagadas con agua deionizada las muestras se colocaron en vasos de polietileno. En el caso del esqueleto se lavo perfectamente con agua deionizada a presión (para esto se utilizó el aparato con nombre water pick) y posteriormente se introdujeron en peróxido de hidrogeno en una solución de 11 volúmenes (Ablanedo 1990) y así se mantuvieron durante 48 horas, al termino de este tiempo fue lavado nuevamente con agua deionizada. Las muestras de esqueleto fueron colocadas en cajas petri, junto con las muestras de tracto digestivo y gónadas se colocaron en una estufa a  $75^{\circ}\text{C}$  durante 48

horas. Posteriormente las muestras de esqueleto fueron maceradas utilizando un mortero de porcelana y se almacenaron en bolsas de polietileno.

A las muestras de tracto digestivo y de gónadas se les colocó la tapa del frasco de polietileno y así se almacenaron.

## **ALGAS**

Las muestras de algas fueron descongeladas y lavadas vigorosamente con agua deionizada, y se limpiaron manualmente de partículas de carbonato de calcio y de algunas otras algas epífitas. Posteriormente, las algas se colocaron en cajas petri y secadas en una estufa a 75° C durante el mismo tiempo que las muestras de equinodermos y después se maceraron utilizando un mortero de porcelana y se tamizaron utilizando una malla del No. 10 con una abertura de 2 mm, ésto con el fin de eliminar las partículas de carbonato de calcio de la muestra y por último, se almacenaron en bolsitas de polietileno.

## **SUBSTRATO CORALINO**

Las muestras de substrato coralino fueron descongeladas y lavadas perfectamente con agua deionizada. Posterior a esto las muestras que se utilizaron para la digestión y evaluación fueron tomadas de la parte más superficial de las muestras colectadas en campo, después fueron introducidas en una solución de HNO<sub>3</sub> al 5% durante 20 segundos y enjuagadas vigorosamente con agua deionizada, esto para eliminar de la muestra a algunos pequeños invertebrados y algas calcáreas. Las muestras se colocaron en una estufa a 75° C durante 48 horas, para eliminar toda cantidad de agua y obtener en peso seco la muestra. Después de este paso se maceraron y almacenaron en bolsas de polietileno.

## DIGESTIÓN

Para realizar la digestión se tomaron las técnicas del manual del horno de microondas CEM (1996) y éstas fueron modificadas para obtener la fracción de metales disponibles para el siguiente nivel propuesto. Las muestras se colocaron en la estufa durante 12 horas a una temperatura de 75° C. Posteriormente se obtuvieron muestras de aproximadamente 0.5 g utilizando una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g, la excepción fueron las muestras de substrato coralino ya que se obtuvieron muestras de 1 g. La digestión de las muestras (excepto las de substrato coralino) se realizó en el horno de microondas CEM modelo MDS 2100. El proceso de digestión consistió en diferentes pasos dependiendo de la muestra, controlando tanto la presión como el tiempo teniendo una temperatura máxima de 119° C ( como se observa en tabla 1). Se utilizaron 5 ml de HNO<sub>3</sub> y 2 ml de agua deionizada para las muestras de tracto digestivo y gónadas, el esqueleto de erizo fue digerido utilizando una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico en una proporción 1:2 y se utilizó 5ml HNO<sub>3</sub>, 2ml de agua deionizada y 1 ml de HF para las muestras de algas. Para llevar a cabo la digestión del substrato coralino se utilizaron 16 ml de acetato de amonio (Engler et al. 1977) al 1M (pH 7) y se colocaron en un agitador a 150 r.p.m. durante una hora. Al término de las digestiones todas las muestras fueron filtradas con papel whatman del No. 42 y se aforaron para tener un volumen estándar en matraces volumétricos a 25 ml utilizando agua deionizada, a excepción de las muestras de substrato coralino ya que se utilizó acetato de amonio ( CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>).

Posteriormente las muestras al ser aforadas se colocaron en frascos de polipropileno y se almacenaron hasta su análisis.



TABLA 1. - Programas de digestión utilizadas en el horno de microondas para la digestión de las muestras.

	ALGAS			TEJIDO ANIMAL				ESQUELETO
	1	2	3	1	2	3	4	
PASO	1	2	3	1	2	3	4	1
%PODER	100	100	100	100	100	100	100	100
PSI	40	85	150	40	85	135	170	97
RAMPA <sub>(MINUTOS)</sub>	6	6	10	10	10	6	6	15
TIEMPO <sub>(MINUTOS)</sub>	3	3	5	5	5	6	6	15

## ANÁLISIS

Las muestras fueron analizadas en un espectro de Absorción Atómica Varian SpectrAA-800 (EAA) y en un horno de grafito GTA 100, basándose en los manuales (Varian 1988 y 1989). Se empleó una lámpara de cátodo hueco para cada uno de los elementos evaluados (Al, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) . Para el método de flama se utilizó una mezcla de acetileno y óxido nitroso o aire, dependiendo del metal evaluado. Las condiciones para realizar el análisis para cada uno de los metales se pueden observar en la tabla 2.

Las muestras que se encontraron por debajo del límite de detección del método de flama fueron analizadas a través del método electrotérmico. Este último método difiere en que se utilizan tres pasos para poder realizarse la medición, los cuales son el secado, calcinado y atomizado, como se puede observar en la tabla 3. Las condiciones tanto de temperatura como de tiempo difieren tanto en cada uno de los pasos, y en cada uno de los metales evaluados, ya que se debe de considerar tanto el tipo de muestra como la temperatura máxima de atomización de cada metal evaluado.

TABLA 2. Condiciones específicas de cada metal para su evaluación en el EAA a través del método de flama.

Metal	Longitud de onda	abertura	gases
Al	309.3	.5	oxido nitroso/ acetileno
Cd	228.8	.5	Aire / acetileno
Cr	357.9	.2	Aire / acetileno
Cu	324.7	.5	Aire / acetileno
Ni	232	.2	Aire / acetileno
Pb	217	1	Aire / acetileno
Zn	213.9	1	Aire / acetileno

TABLA 3. Condiciones para realizar la evaluación de metales pesados a través del método electro térmico.

MUESTRA	SECADO (°C/ Seg)			CALCINADO (°C / seg.)			ATOMIZADO (°C / seg.)		
	PASO 1	PASO 2	PASO 3	PASO 4	PASO 5	PASO 6	PASO 7	PASO 8	PASO 9
SUBSTRATO CORALINO									
Cr	85/5	95/50	120/10	1050/5	1050/15	1050/2	2500/7.4	2500/2	2500/2
Cu	80/5	95/50	120/10	800/5	800/15	800/2	2300/1.1	2300/2	2300/2
Pb	85/5	95/50	110/10	400/8	400/15	400/2	2100/1	2100/2	2100/2
ALGAS									
Cd	85/5	95/66	120/10	300/10	300/30	300/2	1800/8	1800/2	1800/2

Cabe destacar que se utilizó una solución de paladio de 500 ppm como modificador, esto con el fin de evitar la medición de interferencia (ruido).

Para llevar al cabo las mediciones tanto en el método de flama como en el método electrotrémico, se realizó una curva de calibración para cada elemento a partir de una solución patrón de Sigma de 1000 ppm. El límite de detección para cada método y para cada elemento se obtuvo de la lectura de la concentración más baja de la curva de calibración, esto se observa en la tabla 4.

Para obtener el porcentaje de reproducibilidad de los datos para cada elemento, se realizaron 10 lecturas de la absorbancia de una concentración conocida. Esta solución fue un estándar de la curva de calibración y el porcentaje de reproducibilidad se obtuvo del promedio de las lecturas y se le restó la desviación estándar obtenida. Estos valores obtenidos se observan en la tabla 5.

TABLA 4. Límites de detección tanto del método de flama como del método electrotrémico para cada uno de los metales evaluados

Método	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$	$\mu\text{g/g}$
Flama	500	2.5	4	2.5	10	7.5	2.5
	$\text{ng/g}$	$\text{ng/g}$	$\text{ng/g}$	$\text{ng/g}$	$\text{ng/g}$	$\text{ng/g}$	$\text{ng/g}$
Horno de Grafito	--	5	200	350	250	250	7.5

TABLA 5. Porcentaje de reproducibilidad de los elementos evaluados

Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
93.7%	99.2%	94.3%	98.4%	97.9%	98.5%	99.1%

## MANEJO DE LOS RESULTADOS

Se realizó el cálculo para obtener valores en  $\mu\text{g/g}$  de peso seco, utilizando los valores: peso seco de la muestra, el volumen final de ésta, la lectura de blancos y los resultados de cada muestra por duplicado obtenidos en el análisis.

Se realizó un análisis de correlación para determinar que tan relacionados están los compartimientos ambientales escogidos para este estudio con ayuda del programa JMP versión 3.1.2. , obteniéndose un valor de  $r$  de 0.44, correspondiente a un coeficiente de correlación al nivel de 5% y una  $n=20$ . Para detectar diferencias significativas entre ambos arrecifes se realizó un ANOVA de una vía al cumplirse con los supuestos de normalidad y homoscedasticidad (ZAR 1996), utilizando el programa estadístico statgraphics plus versión 2.

## RESULTADOS

### SUSTRATO CORALINO

Los valores de metales pesados obtenidos en el sustrato coralino para ambos arrecifes pueden observarse en la Tabla 6. La mayor concentración obtenida en ambos arrecifes fue de Cr con 0.081  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla verde y de Ni con 0.0443  $\mu\text{g/g}$  de peso en el arrecife La Gallega. En contraste, el metal que presentó menor concentración fue el Cd, obteniéndose 0.0003  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla Verde y 0.0001  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife La Gallega. La tendencia obtenida de la concentración de metales pesados en el sustrato coralino se comporta de la siguiente manera  $\text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cd}$  para el arrecife Isla Verde y en el arrecife La Gallega  $\text{Ni} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu}$  y  $\text{Cr} > \text{Cd}$ . Cabe destacar que por razones logísticas las concentraciones de Al en estas muestras no fueron obtenidas.

### ALGAS

Los valores de metales pesados obtenidos de algas para ambos arrecifes pueden observarse en la Tabla 6. La mayor concentración obtenida en ambos arrecifes fue de Al con 8861.7  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla verde y 9080.3  $\mu\text{g/g}$  de peso en el arrecife La Gallega. En contraste, el metal que presentó menor concentración en el arrecife Isla Verde fue de Cd obteniéndose 9.0  $\mu\text{g/g}$  de peso seco, en el arrecife La Gallega, el metal que presento menor concentración fue el Cu con 23.8  $\mu\text{g/g}$  de peso seco.

La tendencia obtenida de la concentración de metales pesados en algas para el arrecife Isla Verde se comportó de la siguiente manera  $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Cd}$  y la tendencia encontrada en el arrecife La Gallega es muy similar y sólo divergen en que en este arrecife a diferencia del Verde el Cu presenta la menor concentración y la tendencia presentada es  $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Cu}$ .

TABLA 6. Concentración de metales pesados ( $\mu\text{g/g}$  de peso seco) en muestras de los arrecifes Isla Verde y La gallega del SAV.

Muestra	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
<b>Sustrato coralino</b>							
Isla Verde		0.0003	0.081	0.0137	0.0676	0.0180	0.0098
		$\pm 0.0002$	$\pm 0.0057$	$\pm .0036$	$\pm 0.187$	$\pm 0.0096$	$\pm 0.0159$
La Gallega		0.0002	0.0024	0.0024	0.0443	0.0045	0.0203
		$\pm 0.0001$	$\pm 0.0023$	$\pm 0.0023$	$\pm 0.0221$	$\pm 0.0030$	$\pm 0.0099$
<b>Algas</b>							
Isla Verde	8861.7	9	23.8	16.7	56.3	32.9	76.1
	$\pm 4872.7$	$\pm 4.6$	$\pm 9.2$	$\pm 4.1$	$\pm 20.5$	$\pm 17.7$	$\pm 7.6$
La Gallega	9080.3	39.5	40.7	23.8	66.1	45.5	107
	$\pm 3882.1$	$\pm 11.6$	$\pm 18.4$	$\pm 2.6$	$\pm 19.6$	$\pm 40.2$	$\pm 16.4$
<b>Esqueleto de erizo de mar</b>							
Isla Verde	37.4	9.4	13	11.6	53.3	194	33.3
	$\pm 5.6$	$\pm 0.3$	$\pm 0.6$	$\pm 0.9$	$\pm 1.5$	$\pm 5.1$	$\pm 2.5$
La Gallega	38.2	9.3	13.5	12.5	53.7	195.8	33.1
	$\pm 3.6$	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$	$\pm 1.6$	$\pm 0.4$	$\pm 1.5$	$\pm 2.6$
<b>Gónadas de erizo de mar</b>							
Isla Verde	950.1	1.2	0.2	8.5	8.6	25.6	117.3
	$\pm 405.8$	$\pm 2$	$\pm 0.2$	$\pm 3.7$	$\pm 9.5$	$\pm 40.1$	$\pm 104.9$
La Gallega	1030.1	1.1	3.1	23.3	41.1	358.8	1032.3
	$\pm 1216$	$\pm 1.1$	$\pm 8.4$	$\pm 32.1$	$\pm 52.3$	$\pm 514.1$	$\pm 1916.3$
<b>Tracto digestivo de erizo de mar</b>							
Isla Verde	20006.2	7.5	23.6	23.3	61.2	158.7	146.5
	$\pm 6061.6$	$\pm 2.5$	$\pm 3.8$	$\pm 4$	$\pm 15.1$	$\pm 28.1$	$\pm 38.9$
La Gallega	9107.9	7.7	16.9	14.8	51.3	155.7	120
	$\pm 5351.3$	$\pm 1$	$\pm 3.2$	$\pm 2.9$	$\pm 4.2$	$\pm 19.2$	$\pm 27.8$

Valores en media  $\pm$  la esviación estándar

## EQUINODERMOS

### ESQUELETO

La mayor concentración obtenida en ambos arrecifes fue de Pb con 194  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla verde y 195.8  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife La Gallega. En contraste, el metal que presentó menor concentración fue el Cd obteniéndose 9.4  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla Verde y 9.3  $\mu\text{g/g}$  de peso en el arrecife La Gallega (Tabla 6). La tendencia obtenida de la concentración de metales pesados en el esqueleto de erizo para ambos arrecifes se comporta de la siguiente manera:  $\text{Pb} > \text{Ni} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Cd}$ .

### GONADAS

La mayor concentración obtenida en el arrecifes Isla verde la presento el Al con 950.1  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife y mientras que en el arrecife La Gallega fue de Zn con una concentración de 1032.3  $\mu\text{g/g}$  de peso seco. En contraste, el metal que presentó menor concentración en el caso de el arrecife Isla Verde fue el Cr, obteniéndose 0.2  $\mu\text{g/g}$  de peso seco y en el arrecife La Gallega fue el Cd 1.1  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife (Tabla 6). La tendencia obtenida de la concentración de metales pesados en las gónadas de el erizo para el arrecife Isla Verde se comporta de la siguiente manera:  $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr}$  y la tendencia observada en el arrecife La Gallega fue  $\text{Zn} > \text{Al} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Cd}$ .

### TRACTO DIGESTIVO

Los valores de metales pesados obtenidos en el tracto digestivo del erizo de mar para ambos arrecifes pueden observarse en la Tabla 6. La mayor concentración obtenida en ambos arrecifes fue para el Al con 20006.2  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla verde y 9107.9  $\mu\text{g/g}$  de peso en el arrecife La Gallega. En contraste, el metal que

presentó menor concentración fue el Cd, obteniéndose 7.5  $\mu\text{g/g}$  de peso seco en el arrecife Isla Verde y 7.7  $\mu\text{g/g}$  de peso en el arrecife La Gallega. La tendencia obtenida de la concentración de metales pesados en el tracto digestivo de el erizo para ambos arrecifes se comporta de la siguiente manera:  $\text{Al} > \text{Pb} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Cd}$ .

### **ANÁLISIS DE CORRELACION**

La correlación entre las muestras y las concentraciones de metales solo fueron significativas para el Ni entre algas y tracto digestivo con una  $r = 0.5480$ . Este valor es muy cercano al limite de  $r$  para este estudio que fue de 0.44 (con una  $n=20$ ), por lo que se pudiera tomar como un valor estadísticamente no significativo.

### **ANÁLISIS DE COMPARACIÓN**

El ANOVA realizado indicó que no existe diferencia significativa entre ambos arrecifes ( $p > 0.05$ ) para AL, Cr, Ni, Pb y Zn, por lo tanto estadísticamente las concentraciones de estos metales en ambos arrecifes son similares. En contraste para Cd y Cu se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas (Al  $p = 0.0090$  y Cu  $p = 0.0091$ ). En el Anexo 1 se muestran las tablas de ANOVA y se resume el análisis estadístico. De la figura 2 a la 8 pueden observarse las diferencias en las concentraciones entre los diferentes componentes del sistema arrecifal de este estudio.



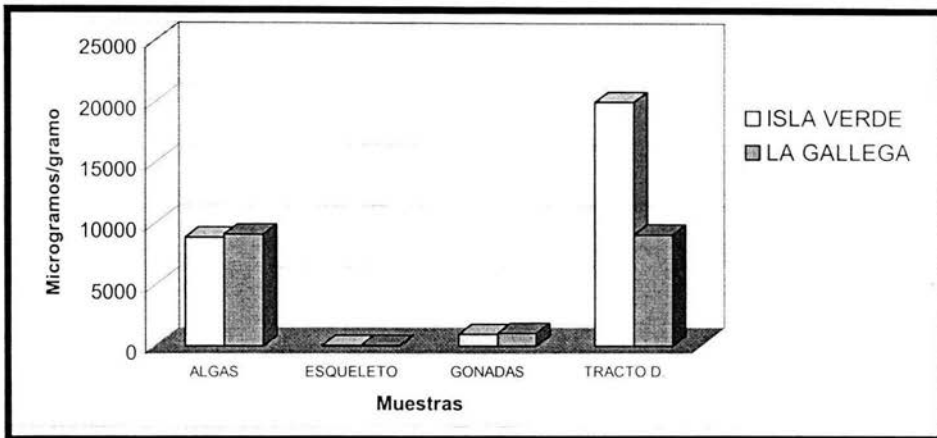


Figura 2. Concentraciones de Al de las muestras colectadas en los arrecifes Isla Verde y La Gallega.

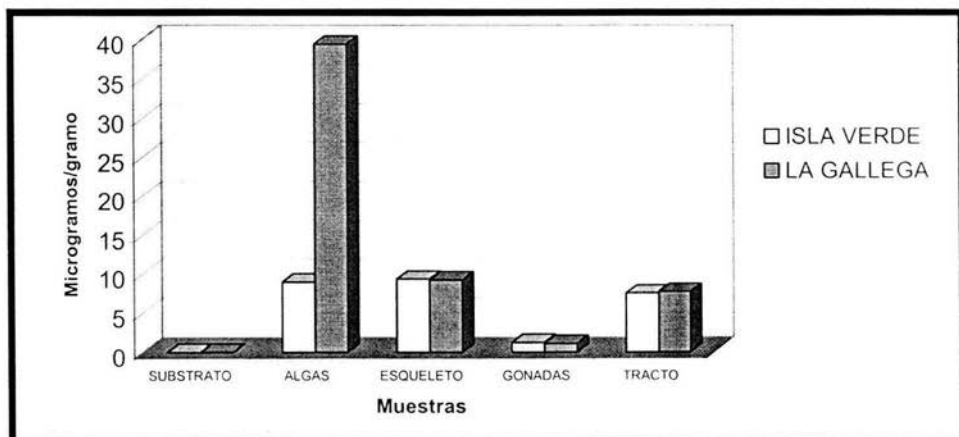


Figura 3. Concentraciones de Cd de las muestras colectadas en los arrecifes Isla Verde y La Gallega.

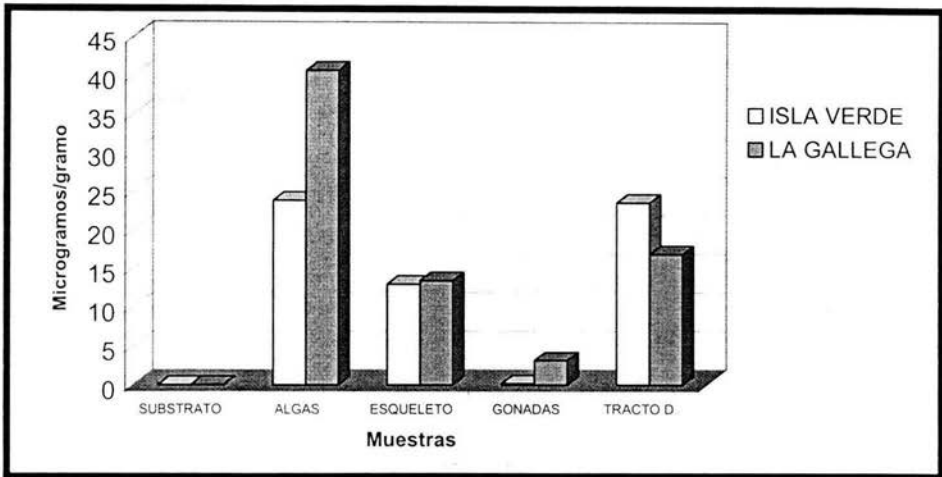


Figura 4. Concentraciones de Cr en las muestras colectadas en los arrecifes Isla Verde y La Gallega

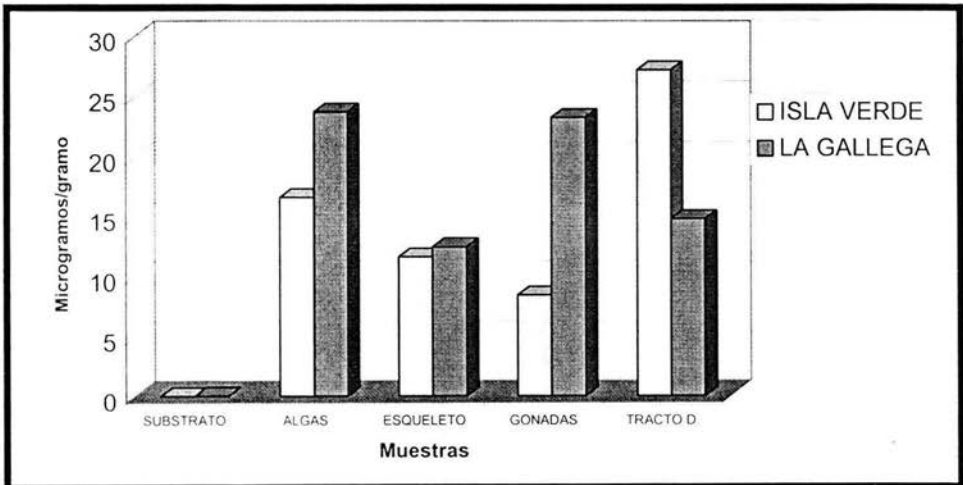


Figura 5. Concentraciones de Cu en las muestras colectadas en los arrecifes Isla Verde y La Gallega.

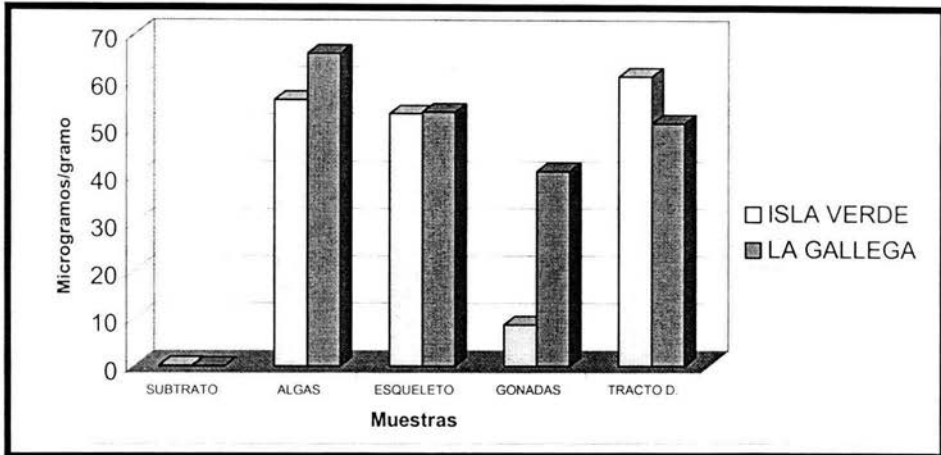


Figura 6. Concentraciones de Ni en las muestras colectadas en los arrecifes Isla Verde y La Gallega.

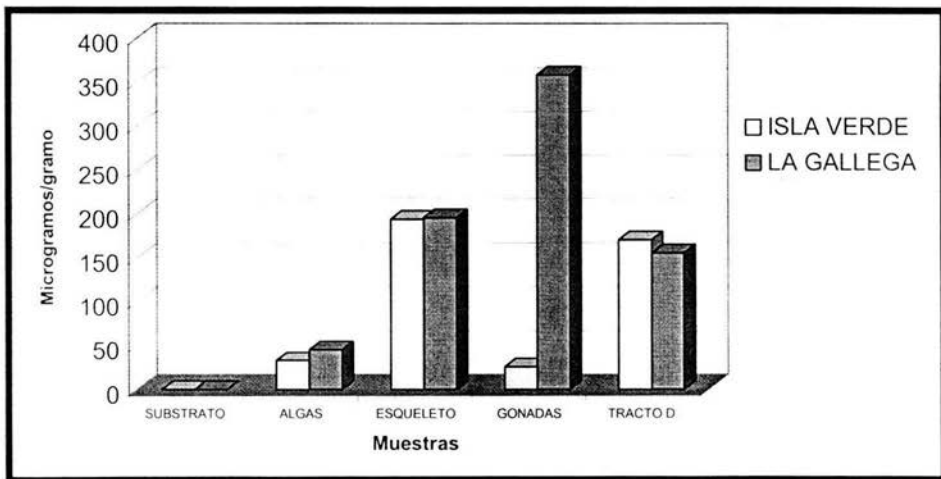


Figura 7. Concentraciones de Pb en las muestras colectadas de los arrecifes Isla Verde y La Gallega.

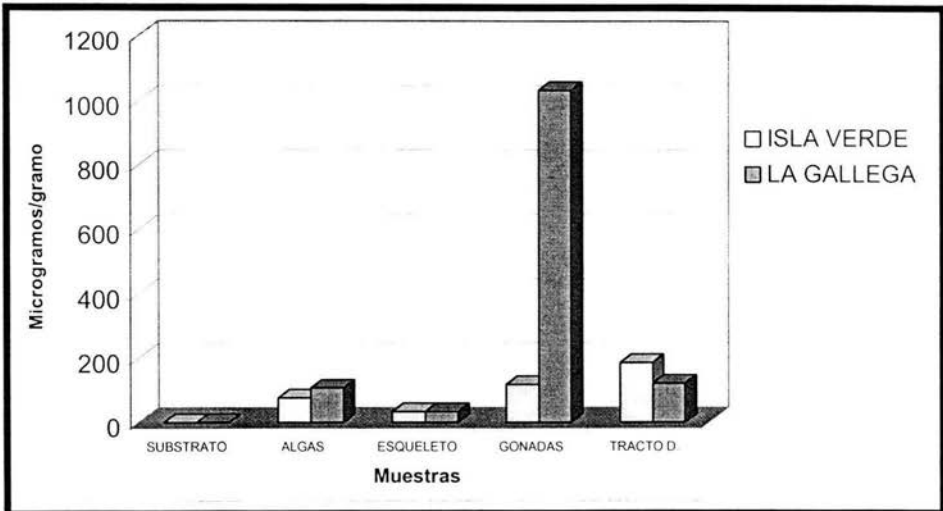


Figura 8. Concentraciones de Zn de las muestras colectadas en los arrecifes Isla Verde y La Gallega.

## DISCUSION

### SUBSTRATO CORALINO

Cabe destacar que en este estudio se utilizó una técnica con un ácido débil (acetato de amonio) con la finalidad de obtener las concentraciones biodisponibles de metales pesados del sustrato coralino, el cual está formado por los esqueletos de corales. El estudio de la evaluación de metales pesados en corales es muy limitado y está enfocado a evaluar las concentraciones totales (Guzmán et al. 1992; Horta P. y Palacios R. 1996; Scott et al. 1997; Esslemont et al. 2000) y es nulo el estudio acerca de la evaluación de metales biodisponibles, por lo que es difícil determinar si las concentraciones obtenidas presentan una tendencia de una mayor disponibilidad en Veracruz.

En la tabla 7 se observan las concentraciones totales obtenidas por diversos autores en el esqueleto de corales y en la tabla 8 se presentan las concentraciones biodisponibles de sedimentos marinos de origen arrecifal y de sedimentos cercanos a la zona de estudio, en los cuales se ha intentado obtener metales biodisponibles

TABLA 7. Concentraciones totales de Metales pesados ( $\mu\text{g/g}$  de peso seco) y concentraciones biodisponibles en sustrato coralino obtenidas en este estudio

SITIO	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	REFERENCIA
COSTA Rica	9261.1	5.9	19.1	8.7	100.5	28.6	19.6	Guzmán et al. (1992)
Panama	4094.6	7	9.2	4.1	93.1	33.2	15.8	
América Central	5442.3	6.7	11.7	5.3	95	32.1	16.8	
Venezuela			32	40		36	78	Bastidas et al. (1999)
México Sontecomapan		N.D.	2.33	0.73	3.7	ND	4.18	González et al (1994)
Isla Verde		0.0003	0.081	0.0137	0.0676	0.0180	0.0098	Presente estudio
La Gallega		0.0002	0.0024	0.0024	0.0443	0.0045	0.0203	

TABLA 8. Concentraciones biodisponibles de metales pesados en sedimentos y substrato coralino.

Sitio	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Referencia
Costa Rica	313	7.5	7.3	2	91.6	31	10.2	Guzmán et al. (1992)
Panama	250.7	7.6	9.9	3.8	93.7	32.3	8.9	
Pioneer Bay		0.09	29	3	37	0.33	28	Esslemont (2000)
		0.09	44	1.6	31	0.24	23	
Nelly Bay		0.18	67	1.9	53	0.24	21	
		0.09	21	5.5	10	0.19	37	Scott et al. (1997)
Townsville Harbor		0.09	31	14	32	8.2	447	
Pulau Semut Java Sea	38.7	ND	0.97	0.40	5.10	0.19	5	
Matan Island Sele Strait	47.1	1	1.50	1.95	4.55	2.65	7	
Dermaga Elpiji Sele Strait	40.7	1	0.25	7.50	7.50	1	12	
Tambak Arar Sele Strair	22	ND	ND	ND	1.70	ND	3.5	
Male Maldives	3.17	1.40	0.53	5	2.84	1.30	27.3	
Detour Reef South Male Atoll	1.84	0.61	0.46	9.22	3.05	0.24	98	
Isla Verde		0.0003	0.081	0.0137	0.0676	0.0180	0.0098	Presente estudio
La Gallega		0.0002	0.0024	0.0024	0.0443	0.0045	0.0203	

Al comparar las concentraciones de metales biodisponibles de otras zonas con las concentraciones obtenidas en este estudio, se observa claramente que las concentraciones obtenidas en Veracruz son bajas. Es difícil determinar por comparación bibliográfica si las concentraciones obtenidas difieren o son similares a otros sitios donde existen arrecifes de coral, pero basándose en los índices de recuperación de los elementos evaluados (Tabla 5) podemos suponer que las concentraciones obtenidas son

las que están biodisponibles para los productores primarios, en este caso para el alga *D. Guineensis*.

## ALGAS

La captación de metales por organismos es energéticamente dependiente del transporte y adsorción de la pared celular. La adsorción dentro del alga es a través de la interacción con grupos químicos funcionales en la pared celular (Crist 1981). Los sitios de unión de los metales con grupos funcionales específicos incluyen hidróxido (-OH), aminos (-NH<sub>2</sub>), carboxilos (-COOH), sulfhídrico (-SH) y grupos tioles (Rai et al. 1981). La interacción de alga-metal se realiza posiblemente a través de múltiples grupos funcionales los cuales participan en la captación del metal. En el caso del Cd pueden ser diferentes grupos carboxilos los cuales dominan sobre otros grupos y en la unión de Cu-alga se une fuertemente con tetranolamida (Majidi 1990).

La acumulación por productores primarios, como las algas, puede resultar en el movimiento de iones de metales pesados a altos niveles tróficos a través de la cadena trófica.

Al ser comparadas las concentraciones encontradas en este estudio con algunos otros trabajos se encontró que las concentraciones obtenidas en los arrecifes estudiados del puerto de Veracruz son más altas para el caso de Al, Cd, Cr, Ni y Pb a lo encontrado por Güven (1992) en algas de Sinop y Sile en el mar negro, en donde el autor considera a la línea costera de estos lugares contaminada. Esto mismo se ve corroborado por el mismo autor al realizar otro estudio (1993) donde las concentraciones encontradas nuevamente se ven muy por debajo de las de este estudio. La misma tendencia se presenta con Cd, Cu y Pb en el estudio realizado por Bohh A. (1979) en el alga *Fucus distichus* en Canadá, excepto para Zn ya que presenta una concentración mayor a las de este estudio (138 µg/g, peso seco). El autor atribuye las concentraciones de Zn encontradas a que fueron tomadas del sitio donde se realiza el dragado y puntualiza que las concentraciones disminuyen mientras se aleja del lugar donde se realiza éste, quizá esto último puede ser la razón por la cual es menor la concentración de Zn en el presente estudio ya que los arrecifes estudiados se encuentran relativamente alejados del sitio donde se realiza el dragado, aunque éste no deje de tener

una influencia. El Zn presento concentraciones altas, con respecto a los otros elementos evaluados, debido a que el Zn es un elemento con mayor disponibilidad (Olmos 1992).

TABLA 9. Concentración de metales pesados ( $\mu\text{g/g}$ , peso seco) en algas de otras regiones del planeta.

ESPECIE	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	REFERENCIA
<i>Fucus distichus</i>	----	1.2	-----	3.4	-----	1	138	Bohn A. 1979
<i>Ulva lactuca</i>	-----	0.78	-----	54	19	69	71	Ho Y.B. 1990
<i>Cystocera</i> sp.	-----	3.5	5.3	4.6	21.9	-----	59.1	Catsiki et al 1991
<i>Padina pavonica</i>	-----	3.2	4.4	6.7	28.4	-----	37.3	
<i>Colpomenia sinuosa</i>		0.21		2.5	0.64	0.71	6.3	Denton G. et al 1986
<i>Cystoseira trinodis</i>		0.58		2	1.1	0.95	5.5	
<i>Dyctiota divaricata</i>		0.36		3	2	2.9	12.4	
<i>Padina australis</i>		0.41		3	1.4	5	9.5	
<i>Turbinaria ornata</i>		0.21		0.77	0.86	0.71	2.6	
<i>Chaetomorpha linum</i>	5906	3.25	18.2	6.5	-----	9.31	32.41	Güven et al 1992
<i>Ulva rigida</i>	2007	2.19	5.92	5.67	-----	8.77	11.9	
<i>Cystocera barbata</i>	4500	2.42	14.3	7.91	-----	12.75	85.8	
<i>Phyllophora nervosa</i>	2344	4.19	9.2	19.48	-----	21.5	98	
<i>Coralina granifera</i>	2523	6.5	4.65	8.02	-----	24.56	59.3	
<i>Gracilaria verrucosa</i>	4003	2.12	10.8	9.11	-----	7.95	73.4	
<i>Pterocladia capillacea</i>	1183	2.81	6.09	7.83	-----	9.72	68.7	
<i>U. lactuca</i>	-----	1.6	7.82	24.7	16.8	15.4	66.9	
<i>Enteromorpha compressa</i>	-----	2.5	9.7	26.7	22.7	18.4	68.4	
<i>Cystocera barbata</i>	-----	1.9	6.8	26.1	13.2	17.3	78.6	
<i>Scytosiphon lomentaria</i>	-----	2.3	5.8	7.4	25	16.7	81.6	Güven et al 1993
<i>Ceramium rubrum</i>	-----	2.4	14.2	22.4	25.7	15.8	77.6	X. Hou 1998
<i>Ulva lactuca</i>	3077	----	4.09	-----	-----	-----	16	
<i>Puncyaria plantaginea</i>	7460	-----	6.53	-----	----	----	23.2	
<i>Desmarestia viridis</i>	6765	-----	5.84	-----	-----	-----	21.1	
<i>Dyctiota guineensis</i> ◀	8861.7	9	23.8	16.7	56.3	32.9	76.1	Presente estudio
<i>D. guineensis</i> *	9080.3	39.5	40.7	23.8	66.1	45.5	107	

◀ Arrecife Isla Verde

\* Arrecife la Gallega



Las diferencias en las concentraciones son más evidentes al ser comparadas con el estudio de Denton (1986) realizado en 48 especies de algas de la gran barrera arrecifal, si se considera que el autor toma estas concentraciones como naturales, puede inferirse que en los arrecifes del puerto de Veracruz existe una gran disponibilidad de algunos metales evaluados en este sitio.

## EQUINODERMOS

### ESQUELETO

Las más altas concentraciones de metales pesados correspondieron al Pb. Observaciones similares han sido reportadas para otras especies de equinodermos (por ejemplo, Warnau et al 1998; Temara et al. 1996), y esto puede deberse a que el Pb puede ser absorbido dentro de la superficie del carbonato del esqueleto (Temara et al. 1995) o puede reemplazar los iones de Ca y/o Mg en la estructura cristalina (Beeby 1991, Sorensen 1991). El estudio realizado por Chinchón (2000) demuestra que el Pb es incorporado dentro de las estructuras cristalinas de magnesio del esqueleto del erizo de mar *Paracentrotus lividus* y *Arbacia lixula* a través del isomorfismo. Al ser comparada la concentración de Pb (194.92 µg/g, peso seco) con lo reportado en la literatura, aunque estos datos disponibles no corresponden con la misma especie utilizada en este estudio (Tabla 7), es evidente que la concentración obtenida en Veracruz es más alta a diferencia con la reportada por Auernheimer (1997) que es de 59.80 µg/g peso. El estudio realizado por Chinchón et al. (2000) refuerza a un mas esta idea ya que la estructura cristalina de las placas en el esqueleto del erizo de mar son formadas siempre con determinadas cantidades de Ca, Mg y Sr, que son sustituidos isomórficamente por Pb.

Otro de los metales que presenta concentraciones mayores a las reportadas por otros autores fue el Cd con 9.31µg/g, peso seco. Como el esqueleto está compuesto en gran parte de carbonato de calcio y es conocido que estos minerales tienen la capacidad de adsorber Cd (Sadiq 1992), esto da como resultado que se dé una adsorción de Cd en la superficie del carbonato. Por otro lado las concentraciones de Zn obtenidas en este estudio son distintas a las reportadas por Ablanedo (1990) para la misma especie (*Echinometra lucunter*). Este autor atribuye la concentración de Zn obtenida a la

influencia de las condiciones del sitio donde habitan, por lo que reporta que la concentración de 12.20  $\mu\text{g/g}$  peso seco puede ser provocada por la alta contaminación existente en este sitio de muestreo. La concentración obtenida por Ablanado es menor a la encontrada en Veracruz (33.22 $\mu\text{g/g}$ , peso seco), por lo que se puede deducir que existe mayor disponibilidad de Zn. Y esto también es corroborado por lo reportado por Auernheimer (1997), el cual encontró concentraciones de Zn muy similares a las de este estudio (32.87  $\mu\text{g/g}$ , peso seco).

Los valores de Ni encontrados en este estudio (53.47  $\mu\text{g/g}$ , peso seco) son similares a los obtenidos por Stevenson y Ufret (1966) en la misma especie, encontrando una concentración de 52  $\mu\text{g/g}$ , peso seco. Esto se debe a que el Ni es un elemento esencial y que estas concentraciones pueden ser las que este organismo es capaz de almacenar en el esqueleto. En lo que respecta al Cu y al Cr, aunque son biológicamente metales esenciales (George 1990), las concentraciones obtenidas en este estudio son altas con respecto a otros sitios reportados en la literatura.

TABLA 10. Concentración de Metales Pesados en el esqueleto de erizos de mar de distintas regiones.

Especie	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Autor
<b><i>Echinometra lucunter</i></b>	-----	-----	-----	-----	52	-----	-----	Stevenson and Ufret 1966
<i>Echinus esculentus</i>	140	0.7	-----	1.8	-----	-----	110	Riley and Segar 1970
<i>E. lucunter</i>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	12.20	Ablanado 1990
<i>Paracentrotus lividus</i>	-----	0.8	0.43	4.1	-----	3.7	23	Michel Warnau 1995
<i>Echinometra mathaei</i>	-----	2.08	0.44	1.15	-----	-----	-----	Sadiq 1996
<i>P. lividus</i>	-----	-----	-----	-----	-----	59.80	32.87	Auernheimer 1997
<i>Arbacia lixula</i>	-----	-----	-----	-----	-----	59.13	24.35	Auernheimer 1997
<i>Diadema setosum</i>	-----	0.53	2.22	1.01	-----	7.4	6.36	P. Flammang 1997
<i>P. lividus</i>	-----	0.37	1.35	0.19	-----	5.49	4.09	Michel Warnau 1998
<i>E. lucunter</i> ◀	37.4	9.4	13	11.6	53.3	194	33.3	Presente
<i>E. lucunter</i> *	38.2	9.3	13.54	12.5	53.7	195.8	33.1	estudio

◀ Arrecife Isla verde

\* .Arrecife la Gallega

El único elemento que presenta concentraciones menores a las reportadas en la literatura fue el Al, con una concentración de  $37.81\mu\text{g/g}$  de peso seco para este estudio. Este valor difiere con el obtenido por Riley y Segar (1970) el cual fue de  $140\mu\text{g/g}$  de peso seco. Es importante observar que las concentraciones encontradas en este estudio para el esqueleto de erizo, y al ser comparadas con la literatura nos indica que existe una gran disponibilidad de estos elementos evaluados en el medio marino en Veracruz (excluyendo solamente al Al).

## GÓNADAS

Tanto el Al como el Zn presentaron las mayores concentraciones y este último, al ser comparado con otros trabajos, presenta valores muy similares (Tabla 8). Ablanedo (1990) atribuye el contenido de Zn a la influencia de las condiciones del sitio donde se realizó el estudio. Cabe destacar que este autor realizó el estudio en la misma especie (*Echinometra lucunter*). Tanto Ablanedo (1990) como Warnau (1998) coinciden en que este metal (Zn) no presenta diferencia entre sus sitios de muestreo por lo que podemos suponer que estos organismos captan concentraciones de manera similar, independientemente del lugar que habiten; además de que este metal es un elemento esencial y que estas concentraciones están sujetas a la homeostasis celular (Roesijadi 1992). Las concentraciones de Pb encontradas fueron muy similares a las encontradas por autores como Warnau et al. (1998) y Nakamura et al. (1986), los cuales encontraron que las concentraciones de plomo fueron altas en los compartimientos no calcificados como es el caso de las gónadas, esto puede relacionarse con la alta actividad metabólica que caracteriza a estos organismos (Byrne 1990; Bishop y Watts 1992).

El Cr y el Cu son elementos esenciales y las elevadas concentraciones de este último puede también relacionarse con la actividad metabólica tan alta que presenta este tipo de organismos (Hori et al. 1987). En el caso del Cd, aunque este elemento no es esencial, quizá tenga sitios similares de unión como en el caso de Zn y Cu (Sorensen 1991), además está demostrado que metaloteoneínas (que están presentes en equinodermos) son usadas en el almacenamiento de metales esenciales, pero puede además unirse otros metales (incluyendo el Cd) con una fuerte afinidad (Nemer et al.

1984; Hamer 1986; Temara et al. 1997). Las concentraciones de Ni encontradas en este estudio son altas con respecto a las obtenidas por Riley y Segar (1970), pero por tener solo una referencia de comparación es difícil atribuir que exista una alta disponibilidad de este metal en la zona de Veracruz, ya que posiblemente el valor encontrado en este estudio (24.86  $\mu\text{g/g}$ , peso seco) pueda ser un nivel elemental para este tipo de organismo.

TABLA 11 Concentración de metales pesados ( $\mu\text{g/g}$ , peso seco) en las gónadas de equinodermos de otras regiones del planeta.

Especie	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Autor
<i>Echinus esculentus</i>	95	0.7	----	16	7.7	----	110	Riley and Segar 1970
<i>Paracentrotus lividus</i>	----	0.67	----	6.34	----	3.14	----	Augier et al. 1989
<i>Echinometra lucunter</i>	----	----	----	6.09	----	----	436	Ablanedo 1990
<i>Echinometra mathaei</i>	----	4.08	4.73	4.93	----	----	----	Sadiq 1996
<i>Diadema setosum</i>	----	11.34	4.83	7.73	----	1.86	307	P Flammang 1997
<i>Paracentrotus lividus</i>	----	0.93	2.16	3.83	----	3.02	383	Michel Warnau 1998
<i>E. lucunter</i> ◀	950.1	1.2	0.2	8.5	8.6	25.6	117.3	Presente
<i>E. lucunter</i> *	1030.1	1.1	3.1	23.3	41.1	358.8	1032.3	estudio

◀ Arrecife Isla verde

\* Arrecife la Gallega

## TRACTO DIGESTIVO

Las concentraciones obtenidas en este estudio en lo que respecta al Al, Pb y Cr fueron altas con respecto a las obtenidas por otros autores (ver tabla 9). Los valores obtenidos para Pb, Cr por Warnau (1995) son de 14 y 6.4  $\mu\text{g/g}$  peso seco, respectivamente y este autor menciona que estos valores pueden ser atribuidos a los altos niveles de contaminación en el Mediterráneo, en Francia. En el caso del Pb, al ser comparadas las concentraciones con lo reportado en la literatura, se observa que en Veracruz las concentraciones son más altas que en otros estudios.

En lo que respecta al Cu, presenta valores altos comparados con los obtenidos tanto en gónadas como en el esqueleto. Esto es similar a lo observado por Sadiq (1996), al obtener mayores concentraciones de este metal en el tracto digestivo seguido de las gónadas y por último de partes duras. En lo que respecta a las concentraciones de Cd, Cu y Zn, Warnau sugiere que puede haber un proceso de biomagnificación que puede estar ocurriendo a través de la cadena trófica en el caso del erizo de mar *Paracentrotus lividus*, pero sin embargo, tanto pruebas de campo como de laboratorio han demostrado que en *P. lividus* la capitación de Cd ocurre eficientemente a través del agua y no substancialmente a través de la cadena alimenticia. Otro estudio realizado por Warnau en 1996 en la misma especie (*P. Lividus*) menciona que la captación de Zn no es a través de su alimento y este último estudio corrobora que la asimilación es posiblemente a través del agua. Podría ser aventurado extrapolar esto para el presente estudio, ya que se trata de diferentes especies.

TABLA 12. Concentración de metales pesados ( $\mu\text{g/g}$ , peso seco) en tracto digestivo de equinodermos de otras regiones del planeta.

Especie	Al	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Autor
<i>Echinus esculentus</i>	2100	8.9	-----	5.9	-----	-----	550	Riley and Segar 1970
<i>Paracentrotus lividus</i>	-----	11	6.4	31	-----	14	407	Michel Warnau 1995
<i>Echinometra mathaei</i>	-----	2.22	2.36	1.86	----	-----	-----	Sadiq 1996
<i>Paracentrotus lividus</i>	-----	8	1.74	31.1	-----	4.90	88	Michel Warnau 1998
<i>Echinometra lucunter</i> ◀	20006.2	7.5	23.6	23.3	61.2	158.7	146.5	Presente estudio
<i>E. lucunter</i> *	9107.9	7.7	16.9	14.8	51.3	155.7	120	

◀ Arrecife Isla verde

\* Arrecife la Gallega

## ANÁLISIS DE CORRELACION

Aunque en este estudio se buscaba principalmente la correlación entre los componentes de la cadena trófica, sólo se encontró una correlación significativa entre los niveles de Ni en las algas y en el tracto digestivo. Sin embargo, para el contexto de



U.N.A.M. CAMPUS

este estudio es irrelevante este resultado. Posiblemente debido a la puntualidad del muestreo y el hecho de que sólo se eligió un elemento de la dieta del erizo de mar *Equinmetra lucunter*, no se observó la correlación. Cualitativamente esta relación es evidente y esta misma observación también es registrada por otros autores (Van Haaften y Lasenby 1994 ; Weis y Weis 1993) los cuales encontraron que los niveles de metales pesados cualitativamente se incrementan conforme al aumento de nivel trófico.

IZT,

Diversos autores han encontrado una relación cuantitativa en la transferencia de metales a través del alimento. Rainbow (1995) menciona que el alimento es una de las principales fuentes de transferencia de metales y esto es corroborado por el estudio de varios autores como el de Stevenson et al. (1960), quienes encontraron una relación en los niveles de Fe en el esqueleto del erizo de mar *Tripneustes esclentus* y su alimento. González et al. (1998) reportan que existe una relación en los niveles de Cd entre la langosta *Pleuroncodes monodon* y su alimento y esta tendencia también es registrada por Wallace et al. (1996) y Jennings y Rainbow (1979) en otros organismos. En el caso de Nott y Nicolaidou (1990); Reinfelder y Fisher (1991); Wallace (1992); Nott y Nicolaidou (1993) y Reinfelder y Fisher (1994 a,b) realizando estudios entre presa y depredador, encontraron que existe una transferencia de un nivel trófico a otro.

Otra de las posibles razones por las cuales no pudo encontrarse esta transferencia, es que sucediera lo propuesto por Warnau (1995 y 1996), que el erizo de mar haya suprimido los niveles de metales pesados de la captación del alimento a través de la excreción y producción de moco.

También es importante tener en cuenta que este tipo de estudio es muy complejo, ya que los organismos propuestos aquí solo forman parte de una red trófica y que las entradas y salidas de metales pesados dentro de esta cadena propuesta no se contemplan en su totalidad. Además, factores tales como el crecimiento, la reproducción, la concentración de metales a nivel celular y el tiempo de exposición a los metales pesados influyen en la distribución de los metales en los organismos (Engel y Roesijadi 1987; Jenkins y Manson 1988; Roesijadi y Klerks 19889; Bjerregaard 1990;



Mason y Jenkins 1991; Reinfelder y Fisher 1991; Brouwer et al. 1992; Roesijadi 1992 y Engel y Brouwer 1993).

## ANÁLISIS DE COMPARACIÓN

Es bien documentado que gran cantidad de sustancia tales como los metales pesados son suministradas a las costas del Golfo de México a través de los ríos (Villanueva et al., 1998) . Es posible que la razón fundamental por la cual no se encontraron diferencias significativas al aplicar el ANOVA en las concentraciones de Al, Cr, Ni, Pb y Zn de ambos arrecifes estudiados radique en la influencia de los ríos Papaloapan, Jamapa y de la Antigua, ya que el régimen de corrientes podría estar acarreado los elementos provenientes de estos ríos hacia los arrecifes estudiados, dando como resultado una dispersión homogénea de estos metales al medio.

Sin embargo, si se encontraron diferencias por el Cd y el Cu. En el caso del Cu, aunque es un elemento esencial, no deja de tener un efecto tóxico en altas concentraciones. Posiblemente la diferencia encontrada en este estudio entre ambos arrecifes radique en que este metal es un componente de la pintura utilizada en los barcos, ya que esta pintura contiene hasta  $500\text{g l}^{-1}$  de  $\text{Cu}$  y se estima que 180 toneladas por año de dicho metal entran en las aguas costeras de California entre Santa Bárbara y San Diego solamente de esta fuente ( Clark 1997). En el caso del Cd, al poseer una alta solubilidad y por ser uno de los elementos de desecho tanto industrial como doméstico (Páez-Osuna 1996), suponemos que en el puerto de Veracruz al ser uno de los más importantes del país y con un tránsito marítimo considerable de barcos de gran calado (Obs. Pers.), cantidades considerables de Cu y Cd pueden ser introducidas al medio marino y por medio de las corrientes propias de la Bocana del Puerto (Hernández 1982) son dispersadas a los arrecifes ubicados frente a éste, afectando de cierta manera más al arrecife La Gallega, ya que se transporta una masa de agua considerable al ser transportada mayor cantidad al norte a través de la corriente principal (Vázquez 1980), proporcionando mayor disponibilidad de estos metales al ambiente biótico y abiótico del arrecife La Gallega.

### CONCLUSIONES

- El esqueleto de erizo en base a los resultados obtenidos se perfila como un buen indicador de metales pesados, en especial del Plomo, ya que estas muestras presentaron desviaciones estándar muy bajas y además, los índices de recuperación son muy cercanos al 100% en este trabajo
- Los metales que presentaron las mayores concentraciones fueron el níquel (en sustrato coralino) y aluminio (en el resto de las muestras).
- Los metales que presentaron una menor concentración fueron el Cd y Cr.
- Los únicos metales que difieren en su concentración entre ambos arrecifes fueron el Cd y el Cu, teniendo más altas concentraciones en el arrecife La Gallega.
- La existencia del Puerto de Veracruz afecta de igual manera con respecto a la contaminación por metales pesados a ambos arrecifes. Y aunque el arrecife La Gallega presentó una mayor concentración de ciertos metales, también es un hecho que el arrecife Isla Verde presenta altas concentraciones.
- Basándose en los resultados obtenidos en este estudio, se puede concluir que ambos arrecifes presentan problemas de contaminación por metales pesados.



## BIBLIOGRAFÍA

- Ablanedo, N., González, H., Ramirez, M., y Torres, I., (1990). Evaluación del erizo de mar *Echinometra lucunter* como indicador de contaminación por metales pesados. Cuba. Aquat. Living. Resour. 3 , pp. 113-120
- Adriano, O. C., (1992). Biogeochemistry of trace metals. Lewis Publisher, U.S.A. pp 1-19
- Augier, H., Ramonda, G., Rolland, J. y Santimone ,M., (1989). Teneurs en metaux lourds des oursins comestibles *Paracentrotus lividus* (Lamarck) prélevés dans quatre secteurs tests du littoral de Marseille (Méditerranée, France). Vie mar. 10. pp. 226-239
- Auernheimer C. y Chinchon S., (1997). Calcareous skeletons of sea urchins as indicators of heavy metals pollution. Portman Bay, Spain. Environmental Geology 29 (1/2), pp. 78-83
- Bastidas, C., Bone, D. y García, E.M., (1999). Sedimentation and metal content of sediments in a Venezuelan Coral reef. Marine Pollution Bulletin. Vol. 38, No. 4, pp. 16-24
- Beeby, A., (1991). Toxic metal uptake and essential metal regulation in terrestrial invertebrates: a review. In: Newman M.C., McIntosh, A.W. (Eds.), Metals Ecotoxicology. Concepts and Applications. Lewis Publ., Chelsea , pp. 65-89
- Bishop, C.D. y Watts, S.A., (1992). Biochemical and morphometric study of growth in the stomach and intestine of the echinoid *Lytechinus variegatus* (Echinodermata) . Mar. Biol 114: pp. 459-467
- Bohn,A., (1979). Trace metals in fucoid algae and purple sea urchin near a high Arctic lead/zinc ore deposited. Marine Pollution Bulletin, Vol. 10. pp. 325-327
- Brady, B.A., Johns, R.B. y Smith, J.D., (1994). Trace metal geochemical association in sediments from the Cairns Region of the Great Barrier Reef, Australia. Marine Pollution Bulletin, Vol. 28, No. 4, pp. 230-234
- Bjerregaard,P., (1990). Influence of physiological condition on cadmium transport from haemolymph to hepatopancreas in *Crcinus maenus*. Marine Biology. Vol. 106,pp. 199-209
- Brouwer,M.D., Schelenk,D., Ringwood,A.H. y Brouwer-Hoexum,T., (1992). Metal-specific induction of metallithionein isoforms in the blue crabs *Callinectes sapidus* in response to single- and mixed-metal exposure. Archives of Biochemistry and Biophysics. Vol. 29, pp. 461-468
- Bo-Olayan, A.H. y Subrahmanyam, M.N.V., (1996). Heavy metals in marine Algae of the Kuwait Coast. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57. pp. 816-823

- Byrne, M., (1990). Annual reproductive cycles of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. *Mar. Biol.* 104. pp. 275-289
- Campbell, P.G. y Tessier, A., (1990). Biological availability of metals in sediments: analytical approaches. In: Vernet, J.P. (ed) *Heavy metals in the environment*. Elsevier
- Carricart Ganivet, J.P. y Horta Puga, G., (1993). Arrecifes de Coral en México. In: Salazar-Vallejo, S.I. y González, N.E. (ed) *Biodiversidad marina y Costera de México*. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México
- Catsiki, V.A., Papathanassiou, E. y Bei, F., (1991). Heavy metals levels in characteristic benthic flora and fauna in the central Aegean Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 22. pp. 566-569
- CEM Corporation (1996). Microwave sample preparation system. Applications manual.
- Chinchón, S., Auerheimer, C., Alastuey, A. y Galí, S., (2000). Accumulation of Pb and Zn in sea urchin plates and spines related to their different Crystalline Structure. *Marine Pollution Bulletin* Vol. 4, No. 7., pp. 647-649
- Cockerham y Shane, (1994). *Basic environmental toxicology*, Chapter 4, pp. 109-132
- Clark, R. B., Frid C. y Attrill M., (1997). *Marine pollution*, Clarendon press Oxford, pp. 61-79
- Connell, D.W. (1993) *Water pollution : cause and effects in Australia and New Zealand*. University of Queensland Press. St Lucia
- DeAngelis, D.L., (1992). *Dynamics of nutrient cycling and food web*. Chapman & Hall. London. 266
- De la Lanza, E. G., (1991). *Oceanografía de mares mexicanos*. A.G.T Editor S.A., México. pp. 3-111
- Denton, G.R.W. y Burdon-Jones, C., (1986). Trace metals in Algae from the Great Barrier Reef. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 17, No. 3, pp. 98-107
- Elton, C. S., (1927). *Animal ecology*. Macmillan, New York.
- Engel, D.W. y Roesijadi, G., (1987). Metallothioneins: A monitoring tool. pp. 421-437. In F.J. Vernberg (Eds.) *Pollution and physiology of stuarine organisms*. University of South Carolina Press, Columbia, South Carolina
- Engel, D.W. y Brouwer, M., (1993). Crustaceans as models for metal metabolism and metallothionein. *Marine Environmental Research*. Vol. 35, pp. 1-5

- Engler R.M., Brannon J.M., Rose J. y Bighan, G. (1977) A practical selective extraction procedure for sediments characterization. In chemistry of marine sediments, Yen T.F. (ed).
- Esslemont, G., (2000). Heavy metals in seawater, marine sediments and corals from the Townsville section, Great Barrier Reef Marine Park, Queensland. *Marine Chemistry*, 71, pp. 215-231
- Ferre-D'Amaré, A.R., (1985). Coral reef of the Mexican Atlantic: A review. Proc. Fifth Int. Symp. Coral Reef 6. pp. 349-354
- Fierro, G.A., Botello, V.A., Frago, V.S. y Vélez, P.G., (1994). Presencia de metales en sedimentos recientes y organismos de la laguna Sontecomapan. Veracruz, México. *Hidrología*, Vol. 4 No. 1-2, pp. 35-43
- Flammang, P., Warnau, A., Temara, A., Lane D.J.W. y Jangoux, M., (1997). Heavy metals in *Diadema setosum* (Echinodermata, Echinoidea) from Singapore coral reefs. *Journal of sea Research*, Vol. 38, pp. 35-45
- Foster, U. y Wittman, G.T.W., (1979). Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin.
- García, E., (1964). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A., México D.F. p. 71
- Gonzalez, F., Silva, M., Schalscha, E. y Alay, F., (1998). Cadmium and lead in trophic marine chain. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60, pp. 112-118
- González de la Parra A., Guzmán L. M. y Sánchez M. R., (1984). Manejo de la zona arrecifal de Antón Lizardo, Ver., Servicio Social, UNIV. AUTON. METROP., 152
- Greenaway, A.M. y Rankine, J.A.I., (1992). Elemental concentrations in coastal Sediments from Hellshire, Jamaica. Vol. 24, No. 8, pp. 390-397
- Güven, K.V., Sygi, N. y Öztürk, B., (1993). Survey of metal contents of bosphorus Algae, *Zostera marina* and Sediments. *BOTANICA MARINA*. Vol. 36, pp. 175-178
- Güven, K. V., Topcuoğlu, S., Kut, D., Esen, N., Erentürk, N., Saygi, N., Cevher, E. Güvener, B. y Öztürk, B., (1992). Metal uptake by black sea Algae. *Botánica Marina*. Vol. 35, pp. 337-340
- Guzmán, M.H. y Jiménez, E. A., (1992). Contamination of coral reefs by heavy metals along the Caribbean Coast of Central America (Costa Rica and Panama). *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 24, No. 11, pp. 554-561
- Hammer, D. H., (1986). Metallothionein. *Ann. Rev. Biochem.* 55, 913-951

Hendler G., Miller J. E.; Pawson D. L. y Kier P.M., (1995), Sea stars, sea urchins and allies. Echinoderms of Florida and the Caribbean, Smithsonian Institution Press, Washington and London, pp. 197-229

Hernández,R.C., (1982)Algunos resultados del estudio de corrientes en la bocana del Puerto de Veracruz. Ver. Dirección General de Oceanografía. Secretaria de Marina. México

Ho, Y.B., (1990). *Ulva lactuca* as bioindicator of metal contamination in intertidal waters in Hong Kong. Hydrobiologia 203. pp. 73-81

Hori, R., Phang, V.P.E. y Lam, T.J., (1987). Preliminary study on pattern of gonadal development of the sea urchin. *Diadema setesum*, offmthe coast of Singapore. Zool Sci. 4 . pp.665-673

Horta-Puga,G., (1982). Descripción de algunas especies de poliquetos bentónicos de isla Verde, Veracruz. Tesis de licenciatura, E.N.E.P. tacala. U.N.A.M., México D.F:

Horta Puga, G. y Ramírez Palacios, R., (1996). Niveles de plomo en esqueletos de coral arrecifal *Montastrea annularis*. In Botello , A.V. , Rojas Galaviz, J.L., Benítez,J.A., Zárate Lomelí, D. (ed) Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias. Universidad Autónoma de Campeche. Epomex Serie Científica

Hou, X. y Yan, X., (1998). Study on the concentration and seasonal variation of inorganic elements in 35 species of marine algae. The Science of the Total Environment Vol. 222 pp. 141-156

Inman,D.L. y C.E., Nordstrom, (1971). On the tectonic and morphologic classification of coasts. Journal of geology 79. pp. 1-21

Jenkins, K.D. y Mason,A.Z., (1988) Relationship between subcellular distribution of cadmium and perturbation in reproduction in the polychaeta *Neanthes arenaceodentata*. Aquatic Toxicology. Vol. 12.pp. 229-244

Jenning,J.R. y Rinbow,P.S., (1979), Studies on the uptake of cadmium by crab *Carcinus maenas* in the laboratory. I. Accumulation from sewerage and food source. Marine Biology. Vol. 50, pp. 131-139

Kormondy, E.J., (1965). Reading in Ecology. Englewood cliffs, Nueva Jersey: Printice-Hall. Inc.

Kruus., (1991). Chemical en the environmental, Metal pollution , chap. VII, pp. 105-128

Kureishy, T.W., (1991). Heavy Metals in Algae Around the Coast of Qatar. Marine Pollution Bulletin. Vol. 22, No. 8, pp. 414-416

Lindeman, R.L., (1992). The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology, 23. pp. 399-418

Lot –Helgueras, A., (1968). Estudio sobre fanerogamas marinas en las cercanías de Veracruz, Ver. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias. U.N.A.M. México D.F. 66 p.

Littler, D.S. y Littler, M. M., (2000) Caribbean Reef Plants. OffShore Graphics, Inc. Washington, USA, pp. 256-269

Lyons, B.W., Armstrong, B.P. y Gaudette, E.H., (1983). Trace metal concentrations and fluxes in Bermuda Sediments. Marine Pollution Bulletin .Vol. 14, No. 2, pp. 65-68

Mandelli, E. F., (1979). Contaminación por metales pesados, REVISTA DE LA COMISION PERMANENTE DEL PACIFICO SUR, 10, pp. 209-228.

Mason, A.Z. y Jenkins, K.D., (1991). Effects of cadmium bioavailability on the cytoplasmic distribution of cadmium in *Neanthes arenaceodentata*. Bulletin of Marine Science. Vol 48, pp. 524-529

Nakamura, R., Nakahara, M., Susuki, Y. y Ueda, T., (1986). Relative importancia of food and water in the accumulation of radionuclides by sea urchin *Strongylocentrotus nudus* . Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish, 52: pp. 703-710

Nemer, M., Travaglini, E. C., Rondinelli, E. y D'Alonso, J., (1984). Developtmental regulation, induction and embryonic tissue specificity of sea urchin metallothionein gene expression. Develop. Biol. 102. pp. 471-482

Nott, J.A. y Nicolaidou, A., (1990). Transfer of metal detoxification along marine food chains. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 70: pp. 905-912

Nott, J.A. y Nicolaidou, A., (1993). Bioreduction of zinc and manganase along marine food chain. Comparative Biochemistry and Physiology 104A. pp. 235-238

Olmos-Aguilera, T.C., (1992) Variación temporal de las concentraciones de las concentraciones de metales pesados en el ostión *Crassostrea gigas* cultivado en la bahía San Quintín, B. C. , México. Tesis de Maestría CICESE. 5p

Páez, O. F., Botello, A.V. y Villanueva, S., (1986). Heavy metals in Coatzacoalcos estuary and Ostion Lagoon. México, MARINE POLLUTION BULLETIN, Vol. 17, No. 11, pp. 516-519.

Páez, O., (1996). Fuente de metales en la zona costera marina. In: Botello, A. V., Rojas Galaviz, J.L., Zárate Lomeli D., (ed) Golfo de México, contaminación e impacto ambiental : diagnostico y tendencias, Epomex serie científica, México, pp. 45-68.

Pérez, J. M., (1980). La polución de las aguas marinas. Ediciones Omega, pp. 22-33.

Rai, L. C. Gaur, J.P. y Kumur,H.D., (1981). Phycology And heavy-metals pollution. Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. 56, pp. 99-151

Rainbow, P.S. y Phillips, D.J. H., (1993). Cosmopolitan biomonitors of trace metals. Marine Pollution Bulletin. Vol. 26, No. 11, pp. 593-601

Rainbow,P.S., (1995), Biomonitoring of heavy metals availability in the marine environment. Marine Pollution Bulletin. Vol. 31, Nos 4-12, pp. 183-192

Reinfelder, J.R. y Fisher,N.S., (1991) The assimilation of elements ingested by marine copepods. Science . Vol. 251, pp. 794-796

Reinfelder, J.R. y Fisher,N.S., (1994a). The assimilation of elements ingested by marine planktonic bivalve larvae. Limnology and Oceanography, vol. 39. pp. 12-20

Reinfelder, J.R. y Fisher,N.S., (1994b). Retention of elements absorbed by juvenile fish (*Menidia menidia*, *Menidia beryllina*) from zooplankton prey. Limnology and Oceanography, vol. 39. pp. 1783-1789

Riley , J. P. y Segar, D.A., (1970). The distribution of the major and some minor elements in marine animals. I. Echinoderms and coelenterates. J. Mar. Biol. Assn. U.K. 50: 721-730

Riley, J. P. y Chester R., (1989). Introducción a la química marina. AGT Editor S.A., México.

Roesijadi, G. y Klerks,P.L.,(1989). Kinetic analysis of cadmium binding to metallothionein and other intracellular ligands in oyster gill. Journal of Experimental Zoology. Vol. 251, pp. 1-12

Roesijadi, G., (1992). Metallothioneins in metals regulation and toxicity in aquatic animals. Aquat. Toxicol. 22. pp.81-114

Sadiq, M., Mian, A.A. y Saji, A.P., (1996). Metal bioaccumulation by sea urchin (*Echinometra mathaei*) from the Saudi Coastal Areas of the Arabian Gulf: 2 Cadmium, Copper, Chromium, Barium , Calcium and Strontium. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 57, pp. 964-971

Schuhmacher, H., (1978). Arrecifes Coralinos. Su extensión , mundo animal y ecología. Omega, Barcelona, 288 p.

Scott, P. J. B. y Davis, M.,(1997). Retroactive determination of industrial contaminants in tropical marine communities. *Marine Pollution Bulletin* , Vol. 34 . No. 11, pp. 975-980

Scullion, L.D. y Masterton, L. M. (2000) *Caribbean Reef Plants*. OffShore Graphics, Inc., Washington , USA. pp. 258-269

Sorensen , E. M., (1991). *Metal poisoning in fish*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Stevenson, R.A. y Ufret, S. L., (1966). Iron, manganese and nickel in skeletons and food of the sea urchin *Triploneustes esculentus* and *Echinometra lucunter*. *Limno. Ocean.* 11. pp. 11-17

Tamayo,W.R.,(1962). *Geografía general de México Vol. 1; geografía Física*, 562 p., Vol: *Geografía Física.. Inst Mex. Invest. Econ. México*. 648 p.

Temara, A., Aboutboul, P., Warnau, M., Jangoux, M. y Dubois, P., (1995a) . Kinetics of lead uptake by the eskeleton of the asteroid *Asterias rubens* (Echinodermata). In: Emson , R. H. Smith, A. B. Campbell, A.C. (Eds.) *Echinoderm research 1995*. Balkema, Rotterdam, pp. 79-82

Temara, A., Warnau, M., Ledent, G., Jangoux, M. y Dubois, P., (1995b) . Allometric variations in heavy metal concentration in the asteroid *Asterias rubens* (Echinodermata).*Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 56 . pp. 98-105

Temara, A., Warnau, M., Dubois, P. y Langston, W.J., (1997). Quantification of metallothioneins in the common asteroid *Asterias rubens* (Echinodermata) exposed experimentally and naturally to cadmium. *Aquat Toxicol*, 38. pp. 17-34

Tuner, D.R., (1986). Biological availability of trace metals. In: Lasserre, P. , Martin, J.M. (ed) *Biogeochemical processesv at the land –sea boundary*. Elsevier, Amsterdam. pp. 191-200

VARIAN, (1988). *Analytical methods for flame atomic absorption spectrometry*, Australia.

VARIAN, (1989). *Analytical methods for graphite tube atomizer* , Australia.

Vázquez, C.A.,(1983) *Corrientes marinas en las cercanías al Puerto de Veracruz en febrero de 1980*. Dirección General de Oceanografía. Secretaria de Marina, México

Villalobos, A., ( 1971). *Estudio ecológico en un arrecife coralino en Veracruz México*. Symp. Invest. Resour. Caribbean Sea. Organized Jointly by UNESCO and FAO, pp. 531-545

Villanueva, S.F. y Botello, A.V. (1998) *Metal Pollution in Coastal* . *Rev Environ Contam Toxicol* 157. pp. 53-94

Waldichuk, M., (1985). Biological availability of metals to marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 16 No. 1, pp. 7-11

Wallace, W.G. y Lopez, G.R., (1996). Relationship between subcellular cadmium distribution in prey and cadmium trophic transfer to a predator. *Estuaries*. Vol. 19, No. 4, pp. 923-930

Warnau, M., Ledent, M., Temara, G., Jangoux, M. y Dubous, P. H., (1995). Experimental cadmium contamination of the echinoid *Paracentrotus lividus*: influence of exposure mode and distribution of the metal in the organism. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 116. pp. 117-124

Warnau, M., Teysié, J.L. y Fowler, S.W., (1996). Bioenergetics of selected heavy metals and radionuclides in the common mediterranean echinoid *Paracentrotus lividus*: sea water and food exposures. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 141. pp. 83-94

Warnau, M., Biondo, R., Temara, A., Bouquegneau, J-M., Jangoux, M. y Dubois, P., (1998). Distribution of heavy metals in the echinoid *Paracentrotus lividus* from the mediterranean *Posidonia oceanica* ecosystem: seasonal and geographical variations. *JOURNAL OF SEA RESEARCH*, No 39, pp. 267-280

William, H. S., (1997). *Biogeochemistry an analysis of global change*. Academic Press. 565 p.

Weis, J.S. y Weis, P., (1993). Trophic Transfer of contaminants from organisms living by Chromated-copper-arsenate (CCA)-treated wood to their predators. *J. Exp. Mar Biol. Ecol.* 168. pp. 25-34

Van Haften, M. y Lasenby, D.C. (1994). Changes in the amount of cadmium in food ingested by the creek chub, *Semotilus atromaculatus*. *Bull Environ Contam Toxicol* 53. pp. 224-229

Yedid, H. A., (1982). Algunos aspectos ecológicos sobre la abundancia y distribución de los corales en Isla Verde, Veracruz. Tesis de licenciatura ENEP Iztacala U.N.A.M. México D. F.

Zar, J.H., (1996). *Bioestadistical Análisis*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA.



## ANEXO

Tabla de ANOVA para Al por Arrecife

Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	valor P
Entre grupos	1.40424E8	1	1.40424E8	2.57	0.1128
Dentro grupos	4.25864E9	78	5.4598E7		
Total	4.39906E9	79			

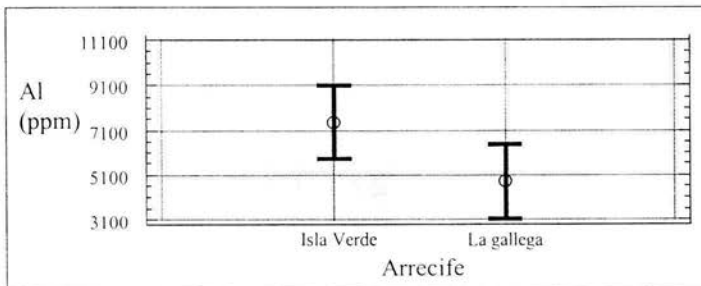


Tabla de ANOVA para Cd por Arrecife

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	Valor de p
Entre grupos	921.784	1	921.784	7.11	0.0090
Dentro grupos	12713.1	98	129.725		
Total	13634.9				

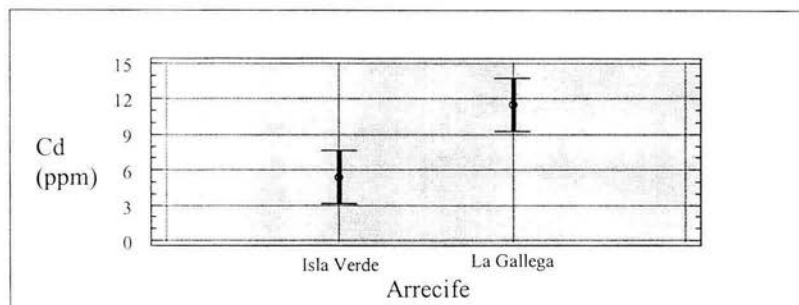


Tabla de ANOVA para Cr por arrecife

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	Valor de p
Entre grupos	185.077	1	185.077	0.88	0.3501
Dentro grupos	20576.0	98	209.959		
Total	20761.1				

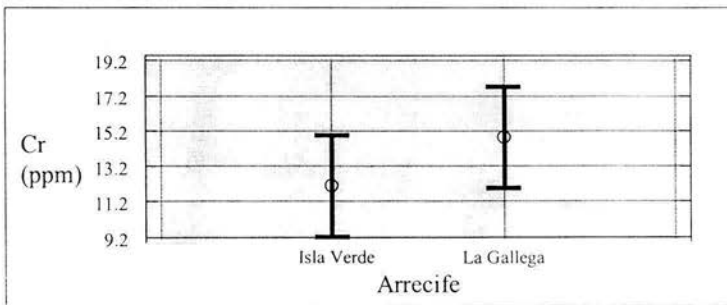


Tabla de ANOVA para Cu por Arrecife

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	Valor de p
Entre grupos	1241.84	1	1241.84	7.09	0.0091
Dentro grupos	17174.5	98	175.25		
Total	18416.3	99			

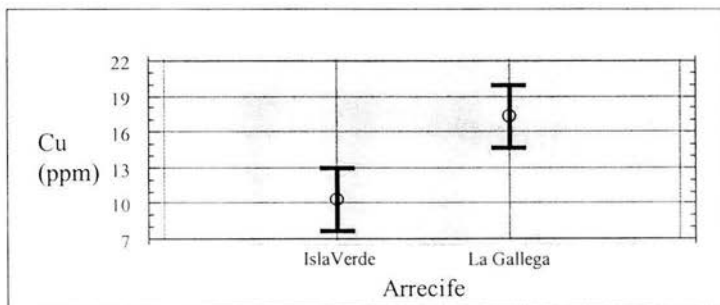


Tabla de ANOVA para Ni por arrecife

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	Valor de p
Entre grupos	1066.46	1	1066.46	1.11	0.2954
Dentro grupos	94431.3	98	963.585		
Total	95497.8	99			

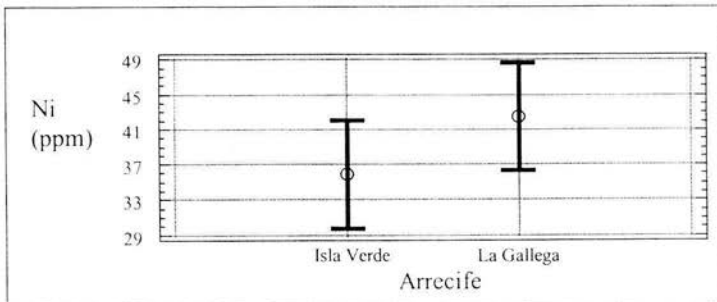


Tabla de ANOVA para Pb por Arrecife

## Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	Valor de p
Entre grupos	110754.0	1	110754.0	3.06	0.0835
Dentro grupos	3.55114E6	98	36236.1		
Total	3.66189E6	99			

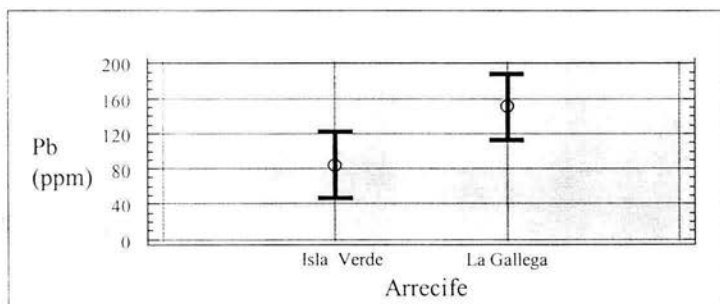




Tabla de ANOVA para Zn por Arrecife

Análisis de Varianza

Fuente de variación	SS	DF	MS	F	Valor de p
Entre grupos	791352.0	1	791352.0	1.85	0.1768
Dentro grupos	4.10264E7	96	427359.0		
Total	4.18178E7	97			

IZT,

