



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CAMPUS IZTACALA

DETERMINACION DE METALES PESADOS EN EL
CORAL PETREO *Madracis decactis* (CNIDARIA:
SCLERACTINIA) EN EL ARRECIFE EL VERDE,
VERACRUZ.

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:

LUIS SANCHEZ PEREZ

DIRECTOR: M. EN C. GUILLERMO HORTA PUGA



TLALNEPANTLA, MEXICO

1994



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.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
ANTECEDENTES.....	6
ZONA DE ESTUDIO..	8
METODOLOGIA.....	10
RESULTADOS Y DISCUSION.....	14
CONCLUSIONES.....	22
BIBLIOGRAFIA.....	23
ANEXO 1: CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DE <i>M. decactis</i>	30
ANEXO 2: CARACTERISTICAS DE LOS METALES PESADOS.....	31
ANEXO 3: INDICES DE CORRELACION Y t DE STUDENT (TABLAS).....	34
TABLAS Y FIGURAS.....	35

DEDICATORIA

A MIS PADRES POR DARMÉ LA VIDA

FERNANDO: A TU MEMORIA

JUANA: POR HACERNOS GRANDES A TODOS TUS HIJOS

A MIS HERMANOS (EN ORDEN DE ANTIGUEDAD)

SOFIA

SUSANA

DANIEL

ADRIANA

ARMANDO

CLEMENTE

JORGE

INES

A TODOS POR IGUAL

A TODOS MIS SOBRINOS

Y A TI...

(II)

MIREYA, POR TODO

(III)

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO SINCERAMENTE AL C. DR. HORTA-PUGA POR LAS FACILIDADES OTORGADAS PARA LA REALIZACION DE ESTE TRABAJO. POR SU VALIOSA Y MUY APRECIABLE CONDUCCION. POR LAS HORAS DEDICADAS AL TRABAJO EN CAMPO Y LABORATORIO. POR EL TIEMPO INVERTIDO EN TODAS LAS REVISIONES REALIZADAS AL MANUSCRITO. PERO PRINCIPALMENTE POR HABERME ACEPTADO DENTRO DE SU EQUIPO DE TRABAJO.

GRACIAS

TAMBIEN AGRADEZCO A LUPITA (GUADALUPE BARBA SANTOS) Y A JOSE LUIS TELLO MUSI POR TODO EL APOYO BRINDADO.

FINALMENTE AGRADEZCO A TODOS CUANTOS TUVIERON QUE VER (\$) EN LA CULMINACION DE ESTE PROYECTO.

RESUMEN

Se realizó la cuantificación de la concentración de los metales pesados cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) en 45 especímenes del coral pétreo *Madracis decactis* de diferentes profundidades (5, 10, 15, 20 m) de los taludes Este (barlovento) y Oeste (sotavento) del arrecife El Verde, Veracruz, mediante espectrofotometría de absorción atómica a la flama. Los niveles totales encontrados en $\mu\text{g/g}$ de peso seco fueron: Cd=8.7, Co=28.9, Cu=7.1, Cr=20.2, Fe=61.9, Mn=12.1, Ni=38.2, Pb=87.6 y Zn=12.4. No se observó relación entre la concentración de metales encontrados en los corales respecto a la profundidad, excepto en los casos de cobalto del talud Este y manganeso del Oeste ($r=1.0$ y $r=0.94$ respectivamente), esto, debido probablemente a algún proceso aleatorio. El talud Oeste registró niveles de concentración mayores en seis de los nueve metales evaluados (Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Pb). Del total de metales evaluados, sólo hierro y manganeso registraron niveles menores en comparación a lo registrado por otros autores.

INTRODUCCION

Un arrecife es una estructura construida por organismos vivientes, por lo general en forma de banco, que desde el fondo marino se eleva hasta la superficie del agua y que es tan grande que influye en las particularidades físicas y con ello también en las ecológicas del ambiente. Su consistencia es lo bastante sólida como para resistir los embates del oleaje (Schuhmacher 1978).

Los arrecifes de coral son ecosistemas que se encuentran en los trópicos; están formados por la asociación de una gran cantidad de organismos, los cuales ocupan distintos nichos ecológicos. Los principales organismos formadores de estos arrecifes son los corales escleractínios y las algas calcáreas, quienes constituyen la base y el sustrato para el desarrollo de otras especies de moluscos, crustáceos, poliquetos, equinodermos, peces, etc., lo que los hace ser muy diversos taxonómicamente. Estos ecosistemas son de los más productivos en el planeta, se desarrollan en un ambiente oceánico pobre en nutrientes y representan por esto, un triunfo de la simbiosis alga-animal. Son probablemente las comunidades marinas someras más extensas sobre la Tierra, cubren alrededor de 0.1% de su superficie. Son importantes en la subsistencia de economías locales, pero su complejidad desafortunadamente los hace vulnerables (Yonge 1963; Stoddart 1969; Loya 1972).

Dadas sus características, los arrecifes de coral en general deben ser considerados como un recurso potencial de carácter múltiple; recurso que será utilizado en diferentes formas como son la extracción de especies gastronómicas de alto valor comercial, recolecta de diversas especies utilizadas en actividades artesanales, obtención de compuestos básicos para la producción de fármacos de alta demanda como las prostaglandinas, los 19-norcolesteroles, antibióticos de diversos tipos y otros compuestos similares (Jordán *et al.* 1986). Alexander von Humboldt, en su ensayo político de la Nueva España, describe que los habitantes porteños de Veracruz utilizaron la piedra múcar de origen madrepórico en la construcción de rompeolas, el Baluarte de Santiago, San Juan de Ulúa y propiedades privadas (Vargas-Hernández *et al.* 1993); asimismo, en la India y en Indonesia se tiene conocimiento de que los corales son utilizados también como material de construcción (Reyes y Sáenz 1989). Quizá uno de los usos más valiosos, pero menos reconocidos, es su importancia en la promoción y desarrollo de industrias turísticas generadoras de ingresos; aunque estas actividades, entre otras tienen impactos negativos sobre los ecosistemas arrecifales. Pese a todo, el conocimiento científico acerca de ellos, su estructura y su función es muy pobre, por lo que la extensa degradación sufrida por dichas comunidades ha pasado casi inadvertida para el hombre (Johannes 1972; Salvat 1981).

Durante mucho tiempo, ha existido el consenso de que las comunidades complejas son también muy estables, ya que al tener muchos componentes específicos y complicadas redes tróficas, pueden hacer frente a cualquier situación o cambio ambiental (Connell 1978). Desafortunadamente no parece ser correcta esta consideración, es probable que la complejidad de estos sistemas sea resultado de una alta estabilidad ambiental en la que no existe gran fluctuación en los parámetros físico-químicos. De tal manera que nuevas variables o desviaciones pequeñas de los parámetros comunes, pueden acarrear situaciones catastróficas con mucha facilidad. El ambiente natural de una comunidad típica de arrecife de coral no sufre grandes variaciones de temperatura, salinidad, sedimentación o del nivel de nutrientes disueltos. Por esto, las especies que lo componen no han desarrollado mucha resistencia a fluctuaciones en el ambiente físico (Johannes 1972). Además, es muy importante tomar en cuenta que el desarrollo del arrecife es muy lento, en comparación con el humano. Este aspecto, es quizá el más importante de entender con respecto a la comunidad coralina, en el que la tasa de incremento estructural y crecimiento coralino es del orden de milímetros, a unos cuantos centímetros por año, y lo que se puede romper o dañar en segundos, tarda años o decenios en ser reconstituido (Jordán *et al.* 1986).

De lo anterior se desprende la importancia de la realización de estudios como el presente que tengan que ver con el monitoreo, la evaluación y el desarrollo de procesos que puedan poner en peligro la estabilidad e integridad del ecosistema.

El Golfo de México, es un área dotada de una rica variedad de ambientes costeros. Pocas zonas en el mundo pueden ofrecer la alta complejidad de los ambientes costeros de las regiones templadas y tropicales del continente que aquí encuentran su confluencia, islas de barreras, estuarios, marismas, manglares, arrecifes de coral, bancos carbonatados y planicies de inundación integran una maravillosa combinación de hábitats, sin duda única en el continente. Sin embargo, la economía humana en esta zona está ampliamente basada en la extracción, el procesamiento y distribución de hidrocarburos; en los intensos movimientos de sus complejos portuarios, industriales y comerciales, en sus pesquerías, en sus desarrollos agropecuarios y aún en sus actividades turísticas, tal es el caso del Puerto de Veracruz. Estas actividades industriales y comerciales significan la incorporación de un volumen considerable de desechos tóxicos al ambiente marino (Carricart-Ganivet y Horta-Puga 1993). Entre estos se encuentran una amplia gama de metales pesados.

La contaminación marina por metales pesados es evidente en las zonas costeras, como consecuencia de las actividades humanas asociadas a las descargas industriales y municipales, a los desechos de agricultura, los de dragado y algunos procesos naturales como la destrucción de los márgenes de las placas de la litósfera, con la formación del suelo marino en las dorsales medio-oceánicas y con procesos de vulcanismo (Mandelli 1979;

Thurman 1985).

Los arrecifes de coral en México se sitúan cerca de la zona de costa, a excepción de los que se encuentran en el Banco de Campeche y Banco Chinchorro en el Caribe por esto se exponen a una diversidad de agentes causales de disturbio (Carricart-Ganivet y Horta Puga 1993); de su observación se desprende que algunos de ellos están sujetos a la acción continua de fuentes crónicas de contaminación como lo es Cayo Arcas, sometido a las operaciones de carga y descarga de petróleo crudo, como principal fuente de contaminación (Orme 1982). Hay otras zonas arrecifales en las que ocurren agentes de disturbio de diversa índole como los arrecifes de los cayos de Florida, Isla Verde e Isla de Enmedio en Veracruz (Chávez e Hidalgo 1988). Es notable observar que la naturaleza y diversidad de las fuentes del impacto que se manifiestan en cada sistema arrecifal son variables, primeramente, se debe tomar en cuenta que la temperatura media anual del agua en el Golfo de México es cercana al límite bajo para un crecimiento arrecifal vigoroso; otras causas, pueden ser la proximidad de la desembocadura de ríos, como por ejemplo el río Jamapa, que tiene un escurrimiento promedio anual de sólidos en suspensión de 0.0263 g/l (de los años 1956 a 1969); la turbiedad de las aguas del Golfo es mayor que las del Caribe u otras regiones del mundo, por ser una cuenca oceánica y por último, que la zona sufre vientos fuertes y fríos del norte (Carricart 1985).

Algunos metales pesados llaman la atención por su potencialidad tóxica para los organismos y el hombre, entre los que pueden mencionarse el mercurio, el cadmio y el plomo. Otros se asocian con actividades petroleras, como el níquel y el vanadio, y otros más se convierten en peligro, al cambiar su forma química o aumentar su concentración, como el cobre, el cobalto y el cromo (Botello *et al.* 1992). Es difícil dar una idea sintética de la toxicidad de los metales pesados para los organismos marinos, incluso si sólo se toma en consideración la toxicidad aguda, ya que varían mucho las dosis letales entre especies sistemáticamente próximas. Como máximo se puede citar el orden de toxicidad decreciente de los metales pesados admitida en la actualidad y que es el siguiente: Hg, As, Pb, Cu, Cd, Zn, Cr, Ni, Co, etc. (Dickson 1980).

Los efectos provocados por la exposición de los corales a concentraciones anormales de metales pesados no son muy conocidos (Howard y Brown 1984), se tiene por ejemplo, un trabajo hecho por Harland y Brown (1989) en el que expusieron al coral escleractinio *Porites lutea* a elevadas concentraciones de hierro, lo cual conducía a la pérdida de zooxantelas (algas simbiotes) del tejido del coral. Otro efecto que provoca la exposición de los corales a elevadas concentraciones de metales pesados es la alta producción de moco, lo que lleva al debilitamiento de la colonia y la susceptibilidad de ser atacada por bacterias u otros organismos depredadores, así como la pérdida de energía para el crecimiento y la reproducción (Brown y Howard 1985b). Se han hecho más estudios relacionados con los efectos provocados por

hidrocarburos derivados del petróleo en los corales; estos consisten en procesos de degeneración celular y atrofiamiento del tejido; reducción de la capacidad del coral para reproducirse (Loya 1975; Rinkevich y Loya 1979; Peters *et al.* 1981; Guzmán y Holst 1993); influencia en los hábitos alimenticios (Reimer 1975). También se ha observado que al incorporarse los hidrocarburos a la membrana, interfieren en procesos vitales como la síntesis de lípidos y en afecciones de las zooxantelas (Loya 1971; Peters *et al.* 1981; Knap 1987). Otros trabajos, como el de Bak (1987) donde menciona la cobertura de coral vivo baja en un arrecife contaminado del Caribe, la presencia de un menor número de juveniles presentes frente a una fuente contaminante (refinería) y en zonas donde la corriente llega a influenciarlos, además observó que corales como *Acropora palmata* y *Montastrea annularis* muestran grandes parches vacíos en su distribución, pero otros como *Diploria strigosa* son relativamente abundantes en el área contaminada; el de Burns y Knap (1989), donde observaron la mortalidad de los corales y la cobertura de estos, relacionados con la contaminación por hidrocarburos.

No obstante la importancia del ecosistema coralino, en México ha sido muy poco estudiado y por lo mismo, poco entendido. Los arrecifes La Blanquilla e Isla Verde, frente al Puerto de Veracruz han sufrido procesos destructivos (Jordán *et al.* 1986) y ahora han sido, junto con los demás arrecifes del Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), declarados zonas protegidas (SEDESOL Diario Oficial de la Federación 24 de agosto de 1992).

Aunque puede no haber efectos aparentes sobre la diversidad y cobertura en sitios afectados por la contaminación debida a metales pesados, existe, sin embargo la incidencia de mortalidad parcial de grupos más susceptibles, como pueden ser los faviidos (Brown y Holley 1982).

Si bien, los corales generalmente representan sólo una pequeña parte de toda la biomasa de las comunidades de arrecifes, cuando mueren desaparecen todas aquellas a causa de la muerte o emigración consiguientes de casi toda la demás fauna que habita en ellos (Johannes 1972).

Existen pocos datos en la literatura para la concentración de metales pesados en tejido y esqueleto de corales escleractinios (Brown y Howard 1985); por lo que en el presente trabajo se conocerán los niveles de metales pesados en el coral pétreo *Madracis decactis* del arrecife El Verde, Ver., teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

Objetivos:

1. Determinar el contenido de metales pesados cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), en el coral escleractinio *Madracis decactis*.

2. Determinar si existen diferencias en la concentración de metales pesados entre organismos de los taludes Este (barlovento) y Oeste (sotavento) y a diferentes profundidades (5, 10, 15m, etc.).

3. Comparar las concentraciones de metales pesados encontradas en *M. decactis* de El Verde con las concentraciones metálicas en otros corales del SAV y de otras partes del mundo registradas en bibliografía.

ANTECEDENTES

En nuestro país, los estudios sobre metales pesados han sido más intensos en el litoral del Golfo de México tanto en sedimentos y efluentes (Alvarez et al. 1986; Rosales et al. 1986; Páez-Osuna et al. 1986; Páez-Osuna et al. 1987a y 1987b), como en organismos, siendo el ostión *Crassostrea virginica* el más analizado (Botello et al. 1992); sin embargo, en cuanto a corales se refiere, estos estudios son muy pocos, así tenemos los realizados por Horta-Puga (1991, 1993), para algunos arrecifes del SAV con especies como *Montastrea annularis*, *Siderastrea radians*, *Diploria clivosa*, *D. strigosa*, entre otras, revisando las concentraciones de metales pesados tanto en tejido, como en esqueleto; el de Ramírez Palacios (1993) en las bandas de crecimiento de *M. annularis* de El Verde, donde encontró promedios de concentración totales de 62.49 µg/g para los años comprendidos de 1975 a 1991. Otros estudios realizados en corales escleractínios, aunque ya no para México son los de Veeh y Turekian (1968), que en varias regiones del Pacífico, evaluaron metales pesados en esqueleto de varios géneros; el de Livingston y Thompson (1971), en Jamaica, donde cuantificaron varios elementos traza como cobre, zinc, cromo, cobalto, hierro, manganeso, níquel, plomo, boro, etc., en corales escleractínios y blandos; el de Dodge y Gilbert (1984) en las Islas Vírgenes, en el cual se hizo un estudio retrospectivo de los niveles de contaminación por plomo en *Montastrea annularis*; el de Denton y Burdon-Jones (1986) donde cuantificaron diversos metales pesados en *Acropora formosa* y dos especies de *Fungia*; los de Howard y Brown (1986, 1987) en Phuket, Tailandia, en los que trabajaron con *Fungia fungites* y *Pocillopora damicornis* respectivamente tanto en tejido, como en esqueleto, determinándoles los niveles de metales pesados; el de Shen et al. (1987), en *Pavona clavus* de las Galápagos y *Diploria strigosa* de Bermuda donde cuantificaron las variaciones de cadmio como respuesta probablemente a surgencias debidas al fenómeno del Niño en las Galápagos y también debidas al desarrollo de la industria en América del Norte; los de Shen y Boyle (1987, 1988), en el primero tomaron varios corales de diferentes partes del mundo para reconstruir la cronología del plomo ambiental a través de las bandas de crecimiento; el segundo, donde determinaron plomo, cadmio, manganeso, zinc y vanadio en las bandas anuales de crecimiento en corales como *Pavona clavus*, *Hydnophora micrococonos*, y *Platygyra rustica*, entre otros, en diferentes regiones del mundo; el de Glynn et al. (1989) en Florida, donde observaron la concentración de metales pesados en varias especies, en tejido y esqueleto a la vez; el de Guzmán y Jiménez (1992), donde observaron 12 metales pesados en *Siderastrea siderea* de arrecifes de las costas caribeñas de Costa Rica y Panamá.

Es de considerar que existe un número mayor de trabajos respecto a la presencia de metales pesados en corales (como Bowen 1956;

Lowenstam 1963; Kinsman 1969; Thompson y Livingston 1970; Amiel et al. 1973; Weber 1973 y 1974; Smith et al. 1979; Oomori et al. 1982; Cross y Cross 1983; entre otros), pero éstos sólo se han hecho con miras a conocer la química del esqueleto coralino.

ZONA DE ESTUDIO

El arrecife El Verde, figura 1, se localiza en el Golfo de México, frente al Puerto de Veracruz, Ver., a 3.2 millas náuticas (4.8 km). Su ubicación geográfica es a los 19°12'08" Latitud Norte y los 96°04'08" Longitud Oeste. Está situado entre los arrecifes Anegada de Adentro, La Blanquilla, Pájaros, Sacrificios, La Gallega, La Galleguilla y Hornos. Este grupo de arrecifes está separado de otro grupo que se encuentra más al Sur, aproximadamente a 8 millas náuticas (14.5km) debido al abanico fluvial que se forma por la descarga de sedimentos del Río Jamapa por Boca del Río al Golfo de México; este segundo grupo comprende los arrecifes Anegada de Afuera, Santiaguillo, Anegadilla, Enmedio, Cabezo, Rizo, Chopas, Blanca, Topatillo, Los Bajitos y Giote, estos localizados frente a Antón Lizardo. Estos dos grupos de arrecifes son muy similares, por su origen en el periodo post-glacial. Son tanto de tipo costero, como de plataforma, encontrándose a profundidades no mayores de 40 m (Kühlmann 1975, Wells 1957). En su mayoría presentan una forma alargada en sentido NW-SE, en relación a la línea de costa; así como la presencia de cayos o islas en su extremo sur, esto debido a los vientos y al oleaje (Heilprin 1890).

El arrecife El Verde mide aproximadamente 1100 m en dirección NW-SE y 750 m en dirección E-W; su extremo sur tiene un pequeño cayo llamado Isla Verde, con una longitud aproximada de 225 m y una anchura de 125 m. Es una formación coralina cuya plataforma tiene profundidades aproximadas entre 1.0 y 1.6 m. El sustrato de la plataforma está formado por coral y arena de origen coralino, con restos de moluscos principalmente. Dentro de ella existe una zonación marcada en la cual de la línea de playa hacia afuera se encuentran cuatro zonas bien definidas: la primera y más cercana, formada por arena; la segunda ocupada por pastos marinos (*Thalassia testudinum*); la tercera por arena; y la cuarta por coral que se extiende hasta el talud arrecifal.

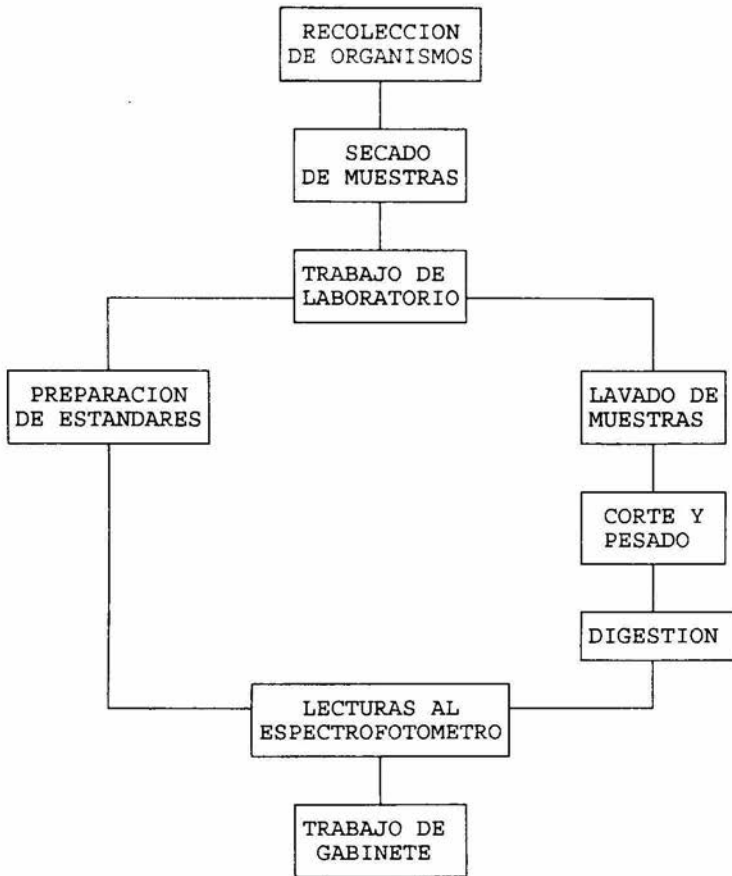
No existen datos climáticos reportados para la zona, por lo que se da la reportada por la estación meteorológica de Veracruz, siendo el clima, según la clasificación de Köppen, modificada por García (1973), AW² (W) (i), que corresponde al tropical subhúmedo con lluvias predominantes en Verano y temperatura media anual superior a los 18 °C. La temperatura media anual del agua es de 26.1 °C, con una máxima de 33 y una mínima de 16 °C. La salinidad media es de 34.5‰, con máxima de 39.3‰ y mínima de 18.2‰. (Sec. Mar. 1978).

En la zona del Golfo de México, al igual que muchas regiones del mundo, los ríos contribuyen en gran medida a la contaminación de las aguas marinas a través del arrastre de sedimentos y desechos solubles que conducen; se tiene que solamente el río Mississippi acarrea cerca del 60% de sólidos totales y el 66% del total de sólidos suspendidos, los cuales van a depositarse al océano desde

la plataforma continental (Botello et al. 1992). Cercano a la región del SAV, también se tienen varios ríos que aportan sus desechos al mar, estos son La Antigua, Jamapa, indirectamente a partir del Sistema Lagunar de Alvarado, los ríos Papaloapan, que recibe las descargas residuales de varias refinerías de azúcar, el Acula y el Blanco que está reportado como uno de los más contaminados en México (Rosales-Hoz et al. 1986).

METODOLOGIA

DIAGRAMA METODOLOGICO



Recolección de organismos.

El muestreo se llevó a cabo entre los meses de julio y agosto de 1993, en los taludes Este (barlovento) y Oeste (sotavento) del arrecife El Verde, Ver., México, a cada 5 m de profundidad desde la superficie (5, 10, 15, 20 m), hasta llegar al límite de crecimiento activo del arrecife. En cada punto de muestreo se recolectaron varios especímenes de forma manual, mediante la utilización de cincel y martillo para separarlos del sustrato y equipo de buceo autónomo (SCUBA). Los individuos se colocaron por separado en bolsas de polietileno debidamente etiquetadas con los datos de ubicación del sitio de muestreo, profundidad, fecha y hora. Las muestras se enjuagaron con agua del medio, posteriormente con agua desionizada y fueron colocadas al sol para desecarlas y evitar la descomposición del tejido y poder transportarlas al Laboratorio de Zoología de la UNAM campus Iztacala para su procesamiento posterior.

Corte de las muestras.

En el laboratorio, las muestras se enjuagaron con agua desionizada, poniéndolas en un cristizador por 30 minutos, después se dejaron secar al horno a 80 °C durante 48 horas, hasta que la muestra estuvo completamente seca (Howard y Brown 1987). Posteriormente, de cada ejemplar se realizaron cortes utilizando un motor de baja velocidad Foredom y discos de carburo para obtener bloques de aproximadamente 1 g, lo más homogéneos posible en cuanto a la edad de los organismos, tomando como referencia su centro geométrico de crecimiento (Guzmán y Jiménez 1992); éstas submuestras se dejaron secar al horno durante 24 horas para posteriormente hacer la digestión ácida.

Digestión.

Las muestras fueron pesadas en una balanza analítica Sartorius con una precisión de ± 0.00005 g, y colocadas en matraces bola para su digestión con una mezcla 1:1 (40 ml) de ácido nítrico y ácido clorhídrico, grado reactivo (modificado de Howard y Brown 1987, por obtenerse mejor disociación de componentes), sobre una parrilla Corning 35 a ebullición durante 25 minutos. Posteriormente se filtraron las muestras con papel Whatman 42 sobre vasos de precipitados y el filtrado se evaporó hasta un volumen de 10 ml. Por último las muestras se aforaron a 25 ml en matraces volumétricos Pyrex con agua desionizada. Los blancos se prepararon de igual forma 1:1 con los ácidos más el agua desionizada. Esto fue realizado dentro de una campana de extracción. Tratando de evitar al máximo la contaminación de las muestras, a partir de este momento, todo el material utilizado fue lavado con ácido nítrico al 5%.

Preparación de estándares.

Las soluciones estándar (1, 2.5 y 5 ppm) se hicieron conforme al manual de uso del espectrofotómetro de absorción atómica Pye Unicam series SP 1900 y SP 190 (Price 1975). Primero se prepara

una solución stock (1 g metal/l) con los siguientes reactivos:

Cadmio. Disolviendo 2.1032 g de nitrato de cadmio en 250 ml de agua desionizada.

Cobalto. Disolviendo 4.9379 g de nitrato de cobalto en 200 ml de agua desionizada.

Cobre. Disolviendo 3.7980 g de nitrato de cobre en 250 ml de agua desionizada.

Cromo. Disolviendo 7.6960 g de nitrato de cromo en 250 ml de agua desionizada.

Hierro. Disolviendo 4.8400 g de cloruro férrico en 200 ml de agua desionizada.

Manganeso. Disolviendo 1 g de manganeso metálico en 50 ml de ácido clorhídrico.

Níquel. Disolviendo 4.9530 g de nitrato de níquel en 100 ml de agua desionizada.

Plomo. Disolviendo 1.5980 g de nitrato de plomo en 100 ml de agua desionizada.

Zinc. Disolviendo 1 g de zinc metálico en 30 ml de ácido clorhídrico.

Posteriormente, cada una de las soluciones anteriores, se diluyeron a 1 l en matraces volumétricos. Teniendo los stocks, se tomaron alícuotas de 1, 2.5 y 5 ml y se colocaron en matraces volumétricos y se diluyeron a 1 l, para tener las concentraciones de 1, 2.5 y 5 mg/l, lo que equivale a 1, 2.5 y 5 ppm de cada uno de los metales a evaluar.

Los estándares fueron almacenados en recipientes de polietileno, como lo indica el manual de uso del espectrofotómetro Pye Unicam (Price 1975).

Lecturas al espectrofotómetro.

Una vez preparadas las muestras, se procedió a realizar lecturas en el espectrofotómetro de absorción atómica Pye Unicam SP 192, empleando una lámpara de cátodo hueco para cada elemento determinado y con una mezcla de aire-acetileno para la flama, mediante la siguiente técnica:

1. Se dejó calentar la lámpara de cátodo hueco con la corriente indicada dependiendo del metal a evaluar.

2. Se calibró el espectrofotómetro a cero de absorbancia con agua desionizada, poniéndolo en las condiciones especificadas para cada metal:

METAL	LONG. ONDA	ABERTURA	CORR. LAMP.	FLAMA ACET.
Cadmio	228.80 nm	0.8 nm	5.00 mA	800 cc/min.
Cobalto	241.00 nm	0.2 nm	11.5 mA	1000 cc/min.
Cobre	324.75 nm	0.8 nm	3.50 mA	1000 cc/min.
Cromo	357.87 nm	0.4 nm	9.00 mA	1600 cc/min.
Hierro	248.33 nm	0.4 nm	12.0 mA	1600 cc/min.
Manganeso	279.48 nm	0.4 nm	9.00 mA	1000 cc/min.
Níquel	342.00 nm	0.2 nm	12.0 mA	1000 cc/min.
Plomo	217.00 nm	0.8 nm	6.00 mA	1000 cc/min.
Zinc	213.86 nm	0.8 nm	7.00 mA	1100 cc/min.

3. Una vez calibrado el espectrofotómetro comenzaron las lecturas de las muestras y los blancos, las cuales se realizaron en lotes de cinco. Para tomar lecturas adecuadas de absorbancia, se tomaron la segunda y tercera de ellas y se promediaron. Cada lote era precedido por la evaluación de las soluciones estándar de 1, 2.5 y 5 ppm.

4. La evaluación de las concentraciones de las muestras se realizó basándose en las lecturas de absorbancia de cada muestra, las cuales se realizaron por duplicado; el peso de cada muestra; el volumen total en que fue disuelta la muestra y la concentración del metal a evaluar en los blancos; mediante la siguiente ecuación:

$$y = \frac{(a+bx)}{p} \quad (25)$$

donde:

y= concentración de la muestra (real).

a= ordenada al origen. Es igual a cero, ya que la absorbancia teórica a concentración cero es cero.

b= pendiente, que fue obtenida mediante el análisis de regresión entre la absorbancia de las soluciones estándar y la concentración de éstas (1, 2.5 y 5 ppm).

p= peso total de la muestra en gramos.

25= volumen final en ml, al cual fue diluida la muestra.

Tratamiento estadístico.

Para observar si existían diferencias entre las concentraciones de metales pesados encontradas en organismos de los diferentes taludes, se utilizó la prueba t de Student. Además la relación de la concentración de los metales en el coral con la profundidad, se obtuvo mediante análisis de correlación simple y el nivel de significancia fue obtenido mediante una t de Student con n-2 grados de libertad (Sokal y Rohlf 1980; Daniel 1987).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el lugar de trabajo, se realizaron muestreos tanto en el talud Este (de barlovento), como en el Oeste (de sotavento) a cada cinco metros de profundidad, comenzando desde la zona de inicio de crecimiento activo del arrecife; 20 metros para el talud Oeste y 15 metros para el Este, siendo el último muestreo en ambos taludes a los cinco metros, esto por el rango de ubicación de la especie, que es generalmente entre cinco y 30 metros (Faulkner y Chesher 1979; Carricart 1985).

Se recolectaron un total de 45 especímenes, 18 en el Este y 27 en el Oeste, a los que se les cuantificó el contenido de metales pesados. Es de considerarse que varios autores han realizado este tipo de estudios separando el tejido del esqueleto y analizando de esta manera la concentración de metales por separado (Horta-Puga 1991, 1993; Howard y Brown 1986, 1987), pero en este caso, debido al tamaño de la especie que no va más allá de dos centímetros de altura y que los corallitos tienen un diámetro de entre uno y dos milímetros, el tejido es muy poco además, difícil de obtenerse por completo al quedar tal vez entre los escleroseptos.

Los niveles de metales pesados obtenidos en este estudio, fueron comparados primeramente con los registrados por Livingston y Thompson (1971) en corales de regiones donde aparentemente no hay alguna fuente de contaminación cercana, esto es, en mar abierto y también de algunas regiones costeras, por lo que se les puede considerar en condiciones ambientales normales o sin contaminación (tabla 1).

Los datos de la concentración de metales pesados obtenidos en el coral *Madracis decactis* del arrecife El Verde, se muestran en las tablas 2, 3 y 4.

Cadmio.

Se obtuvo un promedio total de cadmio en *M. decactis* del arrecife El Verde de 8.7 $\mu\text{g/g}$ de peso seco, siendo los valores extremos encontrados de 5.1 y 13.7 $\mu\text{g/g}$, ambos en el talud Oeste a los 20 y 5 m respectivamente. Sólo para los especímenes del talud Este el promedio fue de 8.4, mientras que para los del Oeste fue de 8.9 $\mu\text{g/g}$. Para este metal, Livingston y Thompson (1971) registraron valores por debajo de su límite de detección, esto es, fueron menores a 2 $\mu\text{g/g}$ de peso seco de acuerdo al procedimiento utilizado de espectrofotometría de emisión. Entonces, el nivel registrado en el presente estudio (8.7 $\mu\text{g/g}$ de peso seco) muestra una variación considerable respecto a lo evaluado por estos autores.

En otras regiones del mundo se han registrado también valores menores (tabla 5); Denton y Burdon-Jones (1986) en corales de la Gran Barrera, registraron en *Acropora formosa* su nivel más alto

con 0.14 $\mu\text{g/g}$; Glynn et al. (1989) en Florida, también obtuvieron valores menores a 1, siendo 0.3 $\mu\text{g/g}$ el más alto en corales como *Montastrea annularis*, *Porites astreoides*, *Siderastrea radians*, entre otros. Esto podría considerarse como un indicio de contaminación por cadmio en la zona, pero para poder corroborarlo habría que llevar a cabo diversos estudios en otras especies de corales, en otros grupos de organismos, en sedimento y en el agua circundante. Guzmán y Jiménez (1992) registraron un promedio de concentración total de 7.6 $\mu\text{g/g}$ en *S. siderea* de Centroamérica; y para la misma región del SAV, inclusive el arrecife El Verde, Horta-Puga (1991, 1993) registró un promedio máximo de 4.79 $\mu\text{g/g}$ en *M. annularis*; mientras que en *Diploria clivosa* fue de 2.99 $\mu\text{g/g}$, éstos últimos valores, más bajos hasta en 5 μg con respecto a los de *M. decactis*, pueden ser debidos probablemente a una mayor capacidad de los corales para desarrollar mecanismos capaces de desalojar de su superficie de contacto, materiales que se encuentran en el medio, un ejemplo sería la producción de moco (Daumas et al. en Brown y Howard 1985).

Por otra parte, se determinó que no existe ninguna relación entre la concentración del metal en los corales y la profundidad a la que se encuentren, esto mediante análisis de correlación ($r=0.77$ para el talud Este y $r=0.87$ para el Oeste) (figura 2). Asimismo, con la aplicación de la prueba t de Student ($t=-1.0629$) se probó que no existían diferencias significativas entre las concentraciones del metal encontradas en corales de ambos taludes (figura 3).

Cobalto.

Para cobalto se obtuvo un nivel promedio general de 28.9 $\mu\text{g/g}$ en *M. decactis* y los valores registrados, en general, no se alejaron en gran medida del nivel medio, siendo 21.4 y 38.1 $\mu\text{g/g}$ los valores menor y mayor, ambos obtenidos en especímenes del talud Oeste a 5 m de profundidad. En el talud Este el promedio fue de 27.9 $\mu\text{g/g}$, en tanto que para el Oeste se obtuvo 29.7 $\mu\text{g/g}$. En corales de aguas profundas de mar abierto este metal presentó un promedio de 15.84 $\mu\text{g/g}$; en aguas someras de mar abierto fue de 1.66 $\mu\text{g/g}$; para corales de aguas costeras 0.63 $\mu\text{g/g}$ y para *Madracis mirabilis* (especie muy cercana con *M. decactis*), también de aguas costeras de arrecifes del Caribe, un promedio de 0.11 $\mu\text{g/g}$ (Livingston y Thompson 1971). Como se ve, los promedios varían en cuanto a la ubicación de los corales y son todos menores en comparación con lo registrado en este estudio para *M. decactis* (28.93 $\mu\text{g/g}$). Este valor de *M. decactis* es casi el doble del encontrado en corales de aguas profundas de mar abierto, pero Livingston y Thompson (1971) en estos lugares presentaron valores muy variables, teniendo algunos registros tan altos como 105 $\mu\text{g/g}$, pero en general, sus promedios fueron bajos. Estas variaciones podrían explicarse, porque en ocasiones, partes de esqueleto quedan expuestas por diversas causas como pueden ser enfermedades, los metales entonces se acumulan como materiales particulados en éstos espacios, que después pueden volver a ser ocupadas por tejido y al evaluar estos corales se obtienen resultados erróneos (Howard y Brown 1984). Veeh y Turekian

(1968), registraron su máximo valor, 0.12 $\mu\text{g/g}$ en *Leptastrea* y todos los demás valores fueron de menos de 0.1 $\mu\text{g/g}$ en corales de varias regiones del Pacífico. Howard y Brown (1986, 1987) en una zona contaminada por una fundidora de estaño en Phuket, Tailandia, registraron niveles mayores a 1 $\mu\text{g/g}$, pero aún con los promedios mayores del esqueleto y tejido de *Pocillopora damicornis* (14.7 y 23.9 $\mu\text{g/g}$ respectivamente), no alcanzaron lo obtenido por *M. decactis* en este estudio. Sin duda, para que un estudio sea más confiable, tiene que ser apoyado, de ser posible, por otros trabajos realizados en la misma zona, ésto se puede confirmar si se toma en cuenta el estudio realizado por Horta-Puga (1991), en el mismo arrecife, donde obtuvo valores de concentración 26.08, 32.77, 25.21 y 28.34 $\mu\text{g/g}$ en diversos corales; como se puede observar, los niveles son muy similares a los registrados en este estudio para *M. decactis*, lo que daría la pauta para pensar en la probable existencia de contaminación por cobalto en la zona.

En cuanto a la relación de la concentración del metal contenido en el coral, con respecto a la profundidad, se tiene que en el talud Este, el coeficiente de correlación fue de 1.0, lo que indica que la concentración varía directamente proporcional con la profundidad (figura 4); pero no sucede así en el talud Oeste, donde el coeficiente de correlación fue de 0.31, entonces, cabe pensar que lo ocurrido en el primer talud pudo haber sido causa de un proceso aleatorio, es decir, no es seguro que la concentración del metal aumente con la profundidad. Por otra parte, no existen diferencias significativas ($t=-1.9932$) entre la concentración total del metal en ambos taludes (figura 5).

Cobre.

Los niveles de cobre, fueron sin duda los que menor variaciones tuvieron entre sí, en comparación con todos los metales evaluados en este estudio, habiéndose registrado un promedio total de 7.1 $\mu\text{g/g}$, siendo 6.9 en el talud Este y 7.2 $\mu\text{g/g}$ en el Oeste. Para este metal en condiciones normales, no se presentaron las enormes variaciones como sucedió en el caso del cobalto; para los corales de aguas profundas de mar abierto se obtuvo un promedio de 7.61 $\mu\text{g/g}$ y para los de aguas someras 5.0 $\mu\text{g/g}$; en tanto que para los corales de aguas costeras el promedio fue de 6.91 $\mu\text{g/g}$ (Livingston y Thompson 1971). Estos valores sugieren la presencia concentraciones bajas de cobre en la zona de estudio. Cabe hacer notar que en *M. mirabilis* el nivel había sido de 3.5 $\mu\text{g/g}$, ésta baja en el promedio puede ser debida a varias causas, como ya se había mencionado anteriormente, los corales pudieron haber desarrollado alguna estrategia para despojarse de las partículas que se le pudieran adherir.

En otras regiones del mundo, los niveles de cobre registrados por otros autores varían teniendo promedios menores y mayores que los obtenidos en este estudio. Brown y Howard (1986, 1987), en general encontraron valores mayores de 20 $\mu\text{g/g}$ en tejido de *Fungia fungites* y *P. damicornis*, en tanto que en esqueleto, la cantidad encontrada tuvo variaciones que van desde 0.5 hasta 23.4

$\mu\text{g/g}$; estas variaciones de los niveles en el esqueleto, también puede ser atribuida al material particulado que tal vez quedó atrapado; para el tejido, estos autores sugieren que las altas concentraciones de metales como cobre y zinc, se deben probablemente a su presencia como coenzimas. Aunque hay otros registros de altas concentraciones en *S. radians*, 47.66 $\mu\text{g/g}$; *D. strigosa*, 21.46 $\mu\text{g/g}$ y *D. clivosa* 17.29 $\mu\text{g/g}$ (Horta-Puga 1991); para las mismas especies Glynn *et al.* (1986), reportaron niveles de 5.66, 9.16 y 5.66 $\mu\text{g/g}$ respectivamente; también estos últimos autores en dos arrecifes de Florida reportaron variaciones similares en otras especies de corales como *Porites astreoides*, que en el arrecife Alina registró 33.66 $\mu\text{g/g}$ y en el arrecife Bache Shoal 11.33 $\mu\text{g/g}$, y en *Colpophyllia natans* que en Bache Shoal registró 10.66 $\mu\text{g/g}$ en el de Alina solamente 2.83 $\mu\text{g/g}$. Guzmán y Jiménez (1992) en Centroamérica y Horta-Puga (1993) en la zona del SAV, también registraron valores bajos en esqueleto de *S. siderea* y *M. annularis* respectivamente.

La concentración de cobre en *M. decactis* no tuvo relación con la profundidad en los dos taludes estudiados (figura 6), esto fue demostrado, al igual que para todos los metales, mediante análisis de correlación ($r=0.68$ para el talud Este y $r=0.73$ para el Oeste). Y entre ambos taludes, en general, no existieron diferencias significativas en la concentración del metal ($t=-1.6979$) (figura 7).

Cromo.

La concentración promedio total de este metal encontrada en el presente estudio, 20.15 $\mu\text{g/g}$ (20.3 y 20.1 $\mu\text{g/g}$ en promedio para los taludes Este y Oeste respectivamente) es alta si se compara con los valores de Livingston y Thompson (1971) donde registraron 1.8 $\mu\text{g/g}$ en corales de aguas profundas de mar abierto; 10.87 $\mu\text{g/g}$ (valor alto por ser promediado con dos registros de 33 y 35 $\mu\text{g/g}$) en aguas someras; 4.73 $\mu\text{g/g}$ en corales de aguas costeras y 7.1 $\mu\text{g/g}$ en *M. mirabilis* en particular. De los estudios disponibles, sólo los de Howard y Brown (1896, 1987) en tejido de *F. fungites* y *P. damicornis* muestran promedios mayores a los encontrados en *M. decactis*, esto tal vez porque este metal sea uno de los principales vertidos contaminantes de la fundidora de estaño cercana a la zona de estudio; estos mismos autores no detectaron el metal en el esqueleto de ninguna de las dos especies.

Los niveles de cromo registrados para el SAV y América Central (Horta-Puga 1991; Guzmán y Jiménez 1992), son muy similares, con cerca de 8 $\mu\text{g/g}$ del metal en promedio; éstos como se ve son menores que en *M. decactis*, por lo que podrían sugerir la probable ocurrencia de un evento que haya provocado un incremento del nivel del metal en el medio y la asimilación del mismo por parte de los corales, aunque para tener certeza de ello, hubiera sido conveniente el análisis de metales en otras especies.

Existe otro estudio realizado por Horta-Puga (1993) en el que obtuvo un promedio de 75.57 $\mu\text{g/g}$ en las bandas de crecimiento de *M. annularis*, señalando que no existen cambios con respecto al

tiempo.

Mediante análisis de correlación ($r=0.75$ para el talud Este; $r=-0.64$ para el Oeste), se comprobó que la profundidad no influye en los niveles de cromo encontrados en *M. decactis* del arrecife El Verde (figura 8). En tanto que, no existen diferencias significativas entre la concentración del metal en organismos del talud Este y del Oeste ($t=0.4174$) (figura 9).

Hierro.

En hierro los resultados obtenidos en *M. decactis* tuvieron un amplio margen de variación, siendo 19.5 y 195.8 $\mu\text{g/g}$ los valores menor y mayor registrados. En el talud Este el promedio fue de 53.6 $\mu\text{g/g}$, mientras que en el Oeste fue de 67.4 $\mu\text{g/g}$, en tanto que en total se obtuvo un promedio de 61.9 $\mu\text{g/g}$ de peso seco. Este metal es uno de los que muestran mayores niveles al ser evaluados, incluso Livingston y Thompson (1971), quienes estudiaron organismos de zonas no perturbadas, obtuvieron promedios de hasta 1130 $\mu\text{g/g}$. Ante esto, y como el nivel de hierro encontrado en este estudio fue de 61.85 $\mu\text{g/g}$, podría decirse que no existen niveles altos de este metal en la zona del SAV; sin embargo, Horta-Puga (1991), registró promedios de 142.22, 223.75, 325.27 y 722.46 $\mu\text{g/g}$ en varias especies de corales, esto es, promedios mayores que los de *M. decactis*, esto podría explicarse porque existen evidencias de que algunas especies de corales pueden controlar el contenido de elementos esenciales como zinc, cobre y el hierro mismo (Denton y Burdon-Jones 1986); esto último podría ser apoyado también porque en el mismo estudio Livingston y Thompson (1971), habían registrado para *M. mirabilis* un promedio, el más bajo de todos, de 50 $\mu\text{g/g}$. Cabe aclarar que Howard y Brown (1987) atribuyen la alta concentración de elementos como hierro, aluminio y sílice, probablemente a la presencia de aluminosilicatos detríticos que quedan atrapados en el esqueleto del coral.

En este metal se observó que la profundidad no influye en los niveles encontrados ($r=0.88$ para el talud Este; $r=0.64$ para el Oeste) (figura 10). Además, no existen diferencias significativas ($t=-1.0330$) entre los niveles totales del metal en ambos taludes (figura 11).

Manganeso.

Para manganeso se obtuvo un nivel de 12.1 $\mu\text{g/g}$ en total para los dos taludes estudiados (11.4 para el Este y 12.6 $\mu\text{g/g}$ para el Oeste), siendo además los valores mínimo y máximo registrados de 9.4 y 17 $\mu\text{g/g}$. Este metal en los corales que se consideran de condiciones ambientales normales (Livingston y Thompson 1971), también mostró un nivel alto 336.23 $\mu\text{g/g}$ de peso seco, pero los valores promediados fueron muy variables, desde 3 hasta 2100 $\mu\text{g/g}$. En los corales de aguas someras, el promedio fue de 98.37 $\mu\text{g/g}$ y en los de aguas costeras se encontró 15.46 $\mu\text{g/g}$.

Los niveles de manganeso registrados por otros autores fueron

también variables; Howard y Brown (1986, 1987) en el tejido de *F. fungites*, obtuvieron promedios de 100 $\mu\text{g/g}$ en especímenes de una zona contaminada y de una zona control, pero en otra zona control, no muy alejada de la primera, no se detectó el metal; en tanto que en el esqueleto de la misma especie y *P. damicornis* tampoco fue detectado. Horta-Puga (1991), y Guzmán y Jiménez (1992), también registraron niveles bajos o no detectables en corales del arrecife El Verde y Centroamérica respectivamente.

En cuanto a la relación de la concentración del metal encontrada en el coral, con respecto a la profundidad ($r=-0.41$ para el talud Este; $r=0.94$ para el Oeste), para el Este no hubo alguna afectación, pero para el Oeste, aparentemente sí existe una variación hacia el aumento directamente proporcional; esto al igual que en el caso de la concentración de cobalto en el talud Oeste, pudo haber sido provocado por un proceso aleatorio (figura 12). Para este metal se observaron diferencias significativas entre las concentraciones totales de ambos taludes ($t=-3.0096$), aunque en apariencia sucede lo contrario, teniendo 11.4 $\mu\text{g/g}$ en el Este y 12.6 $\mu\text{g/g}$ en el Oeste (figura 13).

Níquel.

El nivel de níquel encontrado en *M. decactis* fué de 38.17 $\mu\text{g/g}$ (siendo 39.4 y 37.4 $\mu\text{g/g}$ para los taludes Este y Oeste respectivamente), en tanto que los valores mínimo y máximo fueron de 22.9 y 53.9 $\mu\text{g/g}$, siendo estos últimos de los pocos casos que se alejaron mayormente del nivel medio. Livingston y Thompson (1971), bajo condiciones ambientales normales, registraron un promedio de 5.5 $\mu\text{g/g}$ como máximo. Otros autores también obtuvieron promedios bajos, incluso menores que los encontrados en los corales de las condiciones normales; Denton y Burdon-Jones (1986) registraron menos de 0.03 $\mu\text{g/g}$ y Howard y Brown (1986) 3.5, 3.8 y 9.9 $\mu\text{g/g}$ ambos estudios en *F. fungites*. Pero, en general, se han encontrado valores mayores, así tenemos que Howard y Brown (1987) obtuvieron de 19.5 hasta 44.3 $\mu\text{g/g}$ en tejido de *P. damicornis*, en el esqueleto no lo detectaron; Guzmán y Jiménez (1992) encontraron más de 90 $\mu\text{g/g}$ en *S. siderea*, y Horta-Puga (1991, 1993) obtuvo valores entre 18.65 y 53.88 $\mu\text{g/g}$ en diversas especies de corales del SAV. Estas variaciones pueden explicarse con lo observado por Denton y Burdon-Jones (1986), en donde consideran que la afinidad por ciertos metales (como lo es el níquel), son diferentes dependiendo de la familia.

Para este metal, se tiene que la profundidad no influye en la concentración encontrada en los corales ($r=-0.88$ para el talud Este; $r=0.64$ para el Oeste) (figura 14). Mientras que, al igual que en la mayoría de los metales evaluados en este estudio, no existieron diferencias significativas ($t=0.8339$) entre la concentración encontrada en organismos de los diferentes taludes (figura 15).

Plomo.

Para plomo se registró el valor individual más bajo de 54.2 $\mu\text{g/g}$

y el mayor de 156.4 $\mu\text{g/g}$. En este metal en general se registraron variaciones de concentración considerables, teniendo para el talud Este un promedio de 78.8 $\mu\text{g/g}$, en tanto que para el Oeste se obtuvo 94.8 $\mu\text{g/g}$; el nivel promedio total por otra parte fue de 87.6 $\mu\text{g/g}$. En corales de condiciones ambientales normales, este elemento se presentó hasta en 6.92 $\mu\text{g/g}$ de peso seco (Livingston y Thompson 1971), un valor extremadamente bajo, comparado con lo obtenido en *M. decactis* de este estudio (87.56 $\mu\text{g/g}$). Otros autores registraron niveles variables de plomo; menores de 1 $\mu\text{g/g}$ en corales de la Gran Barrera (Denton y Burdon-Jones 1986), de Florida (Glynn *et al.* 1989); 32 $\mu\text{g/g}$ en Centroamérica (Guzmán y Jiménez 1992); de 44 hasta 68.46 $\mu\text{g/g}$ en varios corales de arrecifes del SAV (Horta-Puga 1991, 1993); y 62.5 $\mu\text{g/g}$ en las bandas anuales de crecimiento de *Montastrea annularis* (Ramírez Palacios 1993). Como se observa, todos son menores que los de *M. decactis*.

Respecto a las condiciones específicas del plomo en el coral *M. decactis* del arrecife El Verde, la profundidad no influye en los niveles encontrados ($r=0.07$ para el talud Este; $r=-0.37$ para el Oeste) (figura 16). Además existen diferencias significativas entre las concentraciones totales de los dos taludes ($t=-2.9147$), 78.8 $\mu\text{g/g}$ en el Este y 94.8 $\mu\text{g/g}$ en el Oeste (figura 17). Puede considerarse que debido a que el talud Este (de barlovento) da hacia mar abierto, la dilución de algunos elementos, como puede serlo el plomo, puede ser mayor, en comparación al talud Oeste (de sotavento).

Zinc.

Para zinc se obtuvieron 13.9 $\mu\text{g/g}$ en el talud Este y 11.4 $\mu\text{g/g}$ en el Oeste, en tanto que de manera general se registró un nivel de 12.4 $\mu\text{g/g}$, en *M. decactis* del arrecife El Verde. Aunque los valores máximo y mínimo (5.3 y 22.3 $\mu\text{g/g}$ respectivamente) se alejan en gran medida del nivel promedio, fueron como en otros metales evaluados únicamente casos aislados, en general se observó uniformidad en los registros. En condiciones ambientales sin contaminantes, generalmente los niveles de este metal fueron bajos 3.84, 2.54 $\mu\text{g/g}$ (Livingston y Thompson 1971), y la mayoría de los autores han registrado niveles ligeramente más elevados. Sólo algunos casos, como en *S. radians* del SAV (Horta-Puga 1991) que registró 79.32 $\mu\text{g/g}$; o los extremos registrados por Howard y Brown (1987) en el tejido de *P. damicornis*, hasta 608 $\mu\text{g/g}$, podrían considerarse como un probable signo de contaminación, pero son casos aislados en zonas donde también se evaluaron otros corales dando valores pequeños. Entonces, el nivel de 12.4 $\mu\text{g/g}$ encontrado en este estudio para *M. decactis*, puede ser considerado bajo, basándose también en el nivel registrado por Livingston y Thompson (1971) en corales de aguas someras de mar abierto, que fue de 23 $\mu\text{g/g}$ de peso seco.

Al igual que en la mayoría de los metales evaluados en este estudio, la profundidad no influyó en los niveles de zinc detectados en los corales ($r=-0.36$ para el talud Este; $r=-0.02$ para el Oeste) (figura 18). Sin embargo, entre las

concentraciones totales de zinc en ambos taludes, si se observaron diferencias significativas ($t=2.6650$), registrando 13.9 $\mu\text{g/g}$ en el Este y 11.4 $\mu\text{g/g}$ en el Oeste (figura 19).

Aspectos generales.

En general, se encontró en *Madracis decactis* del arrecife El Verde, una tendencia a concentrar mayor cantidad de metales pesados que otros corales del mismo arrecife, del SAV y de otras partes del mundo. Aunque es de considerarse que no todos los registros fueron mayores; los estudios revisados mostraron cantidades desde la no detección, hasta valores extremadamente elevados de la concentración metálica, ésto último se observó principalmente en hierro; pero no fue este metal el único, sino que también para manganeso, Livingston y Thompson (1971) mostraron valores hasta de 1100 $\mu\text{g/g}$; además en zinc, Howard y Brown (1987) reportaron valores hasta de 608 $\mu\text{g/g}$ en el tejido de *Pocillopora damicornis*.

Existen otros aspectos que cabe resaltar, se había mencionado en un principio que los estudios concernientes al contenido de metales pesados en corales son muy pocos, por lo que es difícil establecer aún cuales son los niveles naturales y sus variaciones en estos organismos; debido a ésto, no es posible asegurar si algún nivel es signo de contaminación o no. Por otra parte, el registrar valores altos no quiere decir que un área esté contaminada, porque se debe tener en cuenta que no todos esos materiales están biodisponibles (Howard y Brown 1984) y se sabe que los corales generalmente no incluyen los metales en la estructura de su esqueleto, mas bien los atrapan (Veeh y Turekian 1968).

Además se han realizado estudios concernientes a los efectos provocados por los metales en los corales y de ello se desprende que pueden provocar una disminución en el crecimiento, lo que no sucede por lo menos en *M. annularis* de la zona (Horta-Puga 1993a).

CONCLUSIONES

Las observaciones realizadas en el coral *Madracis decactis* sobre la concentración de metales pesados, conducen a las siguientes conclusiones:

1. Los niveles totales en microgramos por gramo ($\mu\text{g/g}$) obtenidos fueron cadmio (Cd) 8.7, cobalto (Co) 28.9, cobre (Cu) 7.1, cromo (Cr) 20.2, hierro (Fe) 61.9, manganeso (Mn) 12.1, níquel (Ni) 38.2, plomo (Pb) 87.6 y zinc (Zn) 12.4.

2. En general, no existen diferencias significativas entre las concentraciones de Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en relación con la profundidad; aunque en cobalto del talud Este y zinc del Oeste ($r=1.0$ y $r=0.94$ respectivamente) se hayan notado ligeros incrementos directa e inversamente proporcionales, esto tal vez se deba a algún proceso aleatorio.

3. No se observaron diferencias significativas en las concentraciones de Cd, Co, Cu, Cr, Fe y Ni encontradas entre los taludes de barlovento (Este) y sotavento (Oeste); en tanto que para Mn, Pb y Zn, si se encontraron diferencias significativas entre ambos taludes.

4. Los corales del talud Oeste registraron concentraciones mayores en seis de los nueve metales evaluados, Cd, Co, Cu, Fe, Mn y Pb, aunque sólo en Mg, Pb y además en Zn se encontraron diferencias significativas.

5. Las concentraciones de metales pesados en *Madracis decactis* de El Verde fueron superiores a las encontradas en otras especies de corales del SAV y de otras regiones del mundo.

6. Es necesario realizar más estudios concernientes a la contaminación, no sólo de metales pesados, sino de otros tipos, para conocer el estado en que se encuentra el medio marino en general, dada la importancia que para el ser humano representa.

BIBLIOGRAFIA

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF). (1992). Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos, S.A. España.
- Amiel, A.G.; G.M. Friedman and D.S. Miller. (1973). Distribution and nature of incorporation of trace elements in modern aragonitic corals. *Sedimentology*, 20:47-64.
- Badillo, G.F. (1988). Plomo. En: Curso básico de toxicología ambiental (Lilia A. Albert, editor). Noriega editores. México. pp. 105-122.
- Bak, R.P.M. (1987). Effects of chronic oil pollution on a Caribbean Coral Reef. *Marine Pollution Bulletin*, 18(10):534-539.
- Botello, A. V., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz y S. Villanueva. (1992). Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo*. XVII(102):28-48.
- Botello, A.V. y S. Villanueva. (1989). La contaminación y procesos geoquímicos, en la laguna de Términos, Campeche, México.
- Bowen, H.J.M. (1956). Strontium and barium in sea water and marine organisms. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, 35:451-460.
- Brown, B. E. and S. Howard. (1985). Assessing the effects of "Stress" on reefs corals. *Advances in Marine Biology*, 22:1-63.
- Brown, B. E. and S. Howard. (1986). Responses of coelenterates to trace metals: A field and laboratory evaluation. *Proc. Fifth Int. Coral Reef Congr.*, Tahití, 6:465-470.
- Burns, K.A. and A. H. Knap. (1989). The Bahia Las Minas oil spill, hidrocarbon uptake by reef building corals. *Mar. Poll. Bull.*, 20(8):391-398.
- Cairns, S.D. (1982). Stony corals (Cnidaria: Hidrozoa: Scleractinia) of Carry Bow Cay, Belize, in Rutzek, K. and I.G. McIntyre (editors). *The Atlantic Barrier Reef Ecosystem at Carry Bow Cay, Belize*. Smithsonian Institution Press., 12:271-303.
- Carricart G., J.P. (1985). Descripción de las especies de Corales Scleractinios de Isla de Enmedio, Ver. Tesis, Lic. Biología. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM.
- Carricart-Ganivet, G.P. y G.J. Horta-Puga. (1993). Arrecifes de Coral en México; en *Biodiversidad Marina y Costera de México* (Sergio I. Salazar-Vallejo y Norma Emilia González, editores). CONABIO y CIQRO. México.

- Castañeda, P. G. and R. I. Miclat. (1981). The Municipal Coral Reef Park in the Philippines. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp., 1:283-285.
- Chávez, E. A. y E. Hidalgo. (1988). Los Arrecifes Coralinos del Caribe Noroccidental y Golfo de México en el contexto socioeconómico. An. Inst. Cienc. Mar Limnol. Univ. Nal. Aut. México, 15(1):167-176.
- Clark, G.L. y G.G. Hawley. (1980). Enciclopedia Química. Ediciones Omega, S.A. España. 1479 p.
- Connell, J.H. (1978). Diversity in tropical rainforest and coral reefs. Science, 199:1302-1310.
- Corey, J. (1981). The reef and man. Proc.4th.Int.Coral Reef Symp. Philippines
- Cross, T.S. and B.W. Cross. (1983). U, Sr and Mg in Holocene and Pleistocene corals *A. palmata* and *M. annularis*. Journal of Sedimentary Petrology, 53 (2):587-594.
- Daniel, W.W. (1987). Bioestadística. 3a edición. Editorial Limusa. México.
- Denton, G.R.W. and C. Burdon-Jones. (1986). Trace metals in corals from the Great Barrier Reef. Mar. Poll. Bull., 17(5):209-213.
- Dickson, T.R. (1980). Química Enfoque Ecológico. Editorial Limusa, México. pp. 239-264.
- Dodge, R. E. and T. R. Gilbert.. (1984). Chronology of lead pollution contained in banded coral skeletons. Mar.Biol. 82:9-13.
- Duffus, J.H. (1983). Toxicología ambiental. Ediciones Omega, S.A. España. pp 82-95.
- Fortescue, J.A.C., (1979). The role of major and minor elements in the nutrition of plants, animals and man. In: Review of research on modern problem in Geochemistry; Siegel, F.R. (ed.). UNESCO. pp. 57-87.
- García, E. (1977). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 p.
- Glynn, P. W.; A. M. Szamant; E. F. Corcoran and S. V. Cofer-Shabica. (1989). Condition of Coral Reef Cnidarians from the Northern Florida Reef Tract: Pesticides, heavy metals, and histopathological examination. Mar. Poll. Bull., 20(11):568-576.
- Goldberg, E.D. (1974). Marine Pollution: Action and reaction times. In: Oceanography (Gordon, R.) 2nd edition. Oxford University Press. U.S.A.

Guzmán, H. and I. Holst. (1993). Effects of chronic oil-sediment pollution on the reproduction of the Caribbean reef coral *Siderastrea siderea*. Mar. Poll. Bull., 26(5):276-282.

Guzmán, H. M. and C. E. Jiménez. (1992). Contamination of Coral Reefs by heavy metals along the Caribbean Coasts of Central America (Costa Rica and Panama). Mar. Poll. Bull., 24(11):554-561.

Harland, A. D. and B. E. Brown. (1989). Metal tolerance in the Scleractinian Coral *Porites lutea*. Mar. Poll. Bull., 20(7):353-357.

Harland, A. D. and N. R. Ngaro. (1990). Copper uptake by the sea anemone *Anemonia viridis* and the role of zooxanthellae in metal regulation. Mar. Biol., 104:297-301.

Heilprin, A. (1890). The Corals and Coral Reefs of the Western Waters of the Gulf of Mexico. Proceedings of the Academy of Natural Science of Philadelphia, 42:303-316.

Horta-Puga, G. J. (1982). Descripción de algunas especies de Poliuetos bentónicos de Isla Verde, Ver. Tesis Lic. en Biología ENEP Iztacala, UNAM, México. 142 p.

Horta-Puga, G.J. (1991). Concentración de diversos metales pesados en corales scleractinios en Veracruz, Veracruz. Programa y resúmenes del XI Cong. Nal. de Zool., Mérida, Yucatán, México (148).

Horta-Puga, G.J. (1993). Metales pesados en esqueleto de *Montastrea annularis* (Cnidaria: Scleractinia) del Sistema Arrecifal Veracruzano: Un análisis retrospectivo. Resúmenes V Cong. Lat. Cienc. Mar, La Paz, B. C. S., México. (176)

Horta-Puga, G.J. (1993a). Tasas de crecimiento en el coral *Montastrea annularis* (Cnidaria, Anthozoa, Scleractinia) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. En: Primera Reunión de Investigadores sobre Fauna Veracruzana (Resúmenes). Sociedad Veracruzana de Zoología, A. C. Xalapa, Veracruz. México. (31)

Howard, L. S. and B. E. Brown. (1984). Heavy metals and reef corals. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 22:195-210.

Howard, L.S. and B.E. Brown. (1986). Metals in tissues and skeleton of *Fungia fungites* from Phuket, Thailand. Mar. Poll. Bull., 17(12):569-570.

Howard, L.S. and B.E. Brown. (1987). Metals in *Pocillopora damicornis* exposed to tin smelter effluent. Mar. Poll. Bull., 18(8):451-454.

Jordán, D. E. , O. Moreno, E. Martín y M. Merino. (1986). Ecología y preservación: El uso y manejo de los arrecifes coralinos de Quintana Roo. En Memorias del Simposio de Quintana

- Roo: Problemática y perspectivas. Inst. Geogr. UNAM; CIQRO. CIQRO, Cancún, Quintana Roo, México.
- Johannes, R. E. (1972). Coral Reefs and Pollution. Marine Pollution and Sea Life. Fishing News Books. London. pp:364-375.
- Kinsman, D.J.J. (1969). Interpretation of Sr^{+2} concentrations in carbonate minerals and rocks. Journal of Sedimentary Petrology, 39(2):486-508.
- Knap, A.H. (1987). Effects of chemically dispersed oil on the brain coral *Diploria strigosa*. Marine Pollution Bulletin, 18(3):119-122.
- Kühlmann, D. H. H. (1975).. Charakterisierung der Korallenriffe vor Veracruz/Mexico. Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 60:495-521.
- Khristoforova, N. K. and N. N. Bogdanova. (1981). Environmental conditions and heavy metals content of marine organisms from atolls of the Pacific Ocean. Proceed. 4th Int. Coral Reef Symp. Manila, 1:161-162.
- Livingston, H. D. and G. Thompson. (1971). Trace element concentrations in some modern corals. Limnol. Oceanogr., 16(5):786-796.
- Losada, F.J. (1983). Importancia del estudio y conservación de los arrecifes coralinos. Natura, 74:4-9
- Lowenstam, H.A. (1963). Sr/Ca ratio of skeletal aragonites from the recent marine biota at Palau and from fossil gastropods. In Craig, H., S.L. Miller and G.J. Wassenburg (Ed.). Isotopic and Cosmic Chemistry. North Holland. pp. 114-132.
- Loya, Y. (1972). Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. Mar. Biol., 13:100-123.
- Loya, Y. (1975). Possible effects of water pollution on the community structure of Red Sea coral. Marine Biology, 29:177-185.
- Mandelli, E. F. (1979). Contaminación por metales pesados. Rev.Com.Perm.Pacífico Sur, 10:209-228.
- Oomori, T.; K. Kaneshima; Y. Nakamura and Y. Kitano. (1982). Seasonal variation of minor elements in coral skeletons. Galaxea, 1:77-86.
- Orme, W.A. Jr. (1982). Cayos Arcas: New Oil Port 70 miles offshore. R & D Mexico, 2(11):22-25.
- Páez-Osuna, F., A.V. Botello and S. Villanueva. (1986). Heavy metals in Coatzacoalcos Estuary and Ostion Lagoon, Mexico. Marine Pollution Bulletin, 17(11):516-519.
- Páez-Osuna, F., D. Valdés, H.M. Alexander, H. Fernández y J.I.

Osuna. (1987a). Níquel y plomo en las fracciones disuelta y particulada del sistema fluvio-lagunar de la Laguna de Términos, México. An.Inst.Cienc.Mar y Limnol. U.N.A.M., 14(1):79-86.

Páez-Osuna, F., D.S. Valdés and H. Fernández. (1987). Trace metals in the fluvial system of Terminos Lagoon, México. Marine Pollution Bulletin, 18(6):294-297.

Pérès, J.M. (1980). Polución por sustancias minerales no nutritivas. En: La polución de las aguas marinas. Pérès, J.M. (editor). Ediciones Omega, España.

Peters, E.C.; P.A. Meyers; P.P. Yevich and N.J. Blake. (1981). Bioaccumulation and histopathological effects on a stony coral. Marine Pollution Bulletin, 12(10):333-339.

Price, N.J. (1975). Atomic Absorption Spectrophotometry with the PYE UNICAM SP 1900 and sp 190 Series Instruments. Published by PYE UNICAM.

Ramírez Palacios, R. (1993). Determinación de los niveles de plomo en *Montastrea annularis*: un análisis retrospectivo. Tesis Lic. Biólogo. ENEP Iztacala, UNAM. México. 56 p.

Reyes C., J. y J.R. Sáenz M. (1989). Sistemática y algunos aspectos ecológicos de los corales escleractinios de la Isla Contoy, Q. Roo, México. Tesis de Licenciatura. ENEP Iztacala, UNAM.

Reimer, A.A. (1975). Effects of crude oil on corals. Marine Pollution Bulletin, 6(3):39-43.

Riley, J.P. y R. Chester. (1989). Introducción a la Química Marina. ACT Editor, S.A., México. pp. 6-9.

Rinkevich, B. and Y. Loya. (1979). Laboratory experiments on the effects of crude oil on the Red Sea coral *Stylophora pistillata*. Mar. Poll. Bull., 10:328-330

Rosales-Hoz, L., A. Carranza and U. Alvarez. (1986). Sedimentological and chemical studies in sediments from Alvarado Lagoon System, Veracruz, Mexico. An.Inst.Cienc.Mar y Limnol. U.N.A.M., 13(3):19-28

Salvat, B. (1981). Preservation of Coral Reefs: Scientific whim or economic necessity? Past, present and future. Proc. 4th Int. Coral Reef Symp., 1:225-229.

Secretaría de Desarrollo Social. (1992). Decreto por el que se declara área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano, ubicada frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado del estado de Veracruz Llave, con superficie de 52,253-91-50. Diario Oficial de la Federación, 24 de Agosto. Gobierno de la República.

Secretaría de Marina. (1972). Atlas Oceanográfico del Golfo de México y Mar Caribe. Secc. 1: Mareas y corrientes (OSM N. IUOO). México, D. F. Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marino.

Schuhmacher, H. (1978). Arrecifes coralinos. Ediciones Omega. España.

Shen, G.T. and E.A. Boyle. (1984). Lead and calcium in corals: tracers of global industrial fallout and paleo-upwelling. EOS, 65(45):964 (abstract).

Shen, G.T. and E.A. Boyle. (1987). Lead in corals: reconstruction of historical fluxes to the surface ocean. Earth and Planetary Science Letters, 82:289-304.

Shen, G.T. and E.A. Boyle. (1988). Determination of lead, cadmium and another trace metals in annually-banded corals. Chemical Geology, 67:47-62.

Shen, G.T., E.A. Boyle and D.W. Lea. (1987). Cadmium in corals as a tracer of historical upwelling and industrial fallout. Nature, 328:794-796.

Smith, F.G.W. (1971). Atlantic Reef Corals. University of Miami Press. U.S.A.

Smith, S.V.; R.W. Buddemeier; R.C. Redalje and J.E. Houck. (1979) Strontium-calcium thermometry in coral skeletons. Science, 204:404-406.

Sokal, R.R. y F.J. Rohlf. (1980). Introducción a la Bioestadística. Editorial Omega, Barcelona.

Stodart, D. R. (1969). Ecology and Morfology of recent coral reefs. Biol. Rev., 44:433-498.

Thompson, G. and H.D. Livingston. (1970). Strontium and uranium concentrations in aragonite precipitated by some modern corals. Earth and Planetary Science Letters, 8:439-442.

Vargas-Hernández, J.M., A. Hernández-Gutiérrez y L.F. Carrera-Parra. (1993). Sistema arrecifal Veracruzano. En Biodiversidad Marina y Costera de México. S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (eds.) Com.Nal.Biodiversidad y CIQRO, Mexico. pp 559-575.

Veeh, H. H. and K. K. Turekian. (1968). Cobalt, Silver and Uranium concentrations of reef-building corals in Pacific Ocean. Limnol. Oceanogr: 304-308.

Villanueva F., S.; A.V. Botello y F. Páez-Osuna. (1988). Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Ver., México. Contam. Amb., 4:19-31.

Weber, J.N. (1973). Incorporation of strontium into reef coral skeletal carbonate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 37:2173-2190.

Weber, J.N. (1974). Skeletal chemistry of scleractinian reef corals: uptake of magnesium from sea water. *Am. J. Sci.*, 274:84-93.

Wells, J.W. (1973). New and old Scleractinian Corals from Jamaica. *Bull.Mar.Sci.*, 23(1):16-58.

Whittaker, M.R. (1975). *Química General*. Compañía editorial Continental, S.A., México.

Windholz, M. (Editor). (1983). *The Merck Index; an Encyclopedia of chemicals, drugs and biologicals*. 10th edition. Merck & Co., Inc. Rahway, N. J., U. S. A.

Yonge, C.M. (1963). The biology of coral reefs. *Adv. Mar. Biol.*, 1:209-263.

ANEXO 1

CLASIFICACION Y CARACTERISTICAS DEL CORAL PETREO

Madracis decactis.

Filo: Cnidaria Hatscheck 1888.

Clase: Anthozoa Ehrenberg 1834.

Subclase: Hexacorallia Haeckel 1896.

Orden: Scleractinia Bourne 1900.

Suborden: Astrocoeniina Vaughan y Wells 1943.

Familia: Pocilloporidae Gray 1842.

Género: *Madracis* Edwards y Haime 1849

Especie: *Madracis decactis* (Lyman 1859).

Esta especie se conoce como el "coral dedo del Caribe"; son organismos que se encuentran en colonias plocoides, ramificadas, con corralitos poligonales de 1 a 2.6 mm de diámetro, con 10 escleroseptos completos, sobresalientes sin formar costa, con la superficie lateral espinosa y que se unen a una columna estili-forme. El cenostelo presenta líneas de espinas cortas que rodean a cada corralito.

Madracis decactis presenta un color dorado verdoso, con zooxantelas, lo que le da la apariencia de estar cubierta por pelusa. Son colonias diminutas que crecen a lo más 20 cm. Otras seis especies del género viven en cavernas o a más de 100 m de profundidad, pero el coral dedo del Caribe, raramente vive a más de 30 m. Es junto con *M. mirabilis*, hermatípico, a comparación de las especies de aguas profundas que son ahermatípicos. En cavernas o a grandes profundidades, las zooxantelas tienen poca o nula luz del sol para sobrevivir.

El género *Madracis* habita en el Mediterráneo, en el Atlántico Este, en Bermuda, Las Bahamas, Florida, Las Indias Occidentales, Belice, Honduras, Panamá y El Caribe. Varias especies han colonizado el Pacífico, pero no son muy comunes (Faulkner y Chesher 1979).

ANEXO 2

CARACTERISTICAS DE LOS METALES PESADOS

El objetivo del presente trabajo no está relacionado con la salud pública directamente, sin embargo el consumo humano de productos del mar, es sin lugar a dudas una buena razón para conocer los efectos provocados por los metales pesados en el hombre. Debido a esto a continuación se presenta una serie de síntomas que se pueden presentar por intoxicación con metales pesados y algunas características de ellos.

Los metales traza en sentido geológico se definen como los que se encuentran en una concentración de 1000 ppm o inferior en la corteza terrestre. Pueden dividirse en pesados (con densidades superiores a 5 g/cm³) y ligeros (con densidades menores a 5 g/cm³).

Cadmio.

Este elemento se encuentra en el grupo IIB, periodo IV de la tabla periódica; posee ocho isótopos cuyas masa oscilan entre 106 y 116, su número atómico es 48 y su peso 112.41; su potencial normal Cd⁺⁺ es de -0.40 voltios. Como sucede con otros elementos, el cadmio parece estar presente sólo en pequeñas cantidades en forma natural en el ambiente, su abundancia se considera del orden de 0.5 g por tonelada de corteza terrestre; sin embargo, el cuerpo humano puede absorberlo y retenerlo en él durante largos periodos. El cadmio es muy tóxico y se la han atribuido casos de intoxicación con alimentos. Se cree que muy pequeñas cantidades de cadmio podrían ser la causa de alteraciones adversas en las arterias renales. También produce cánceres generalizados en animales de laboratorio y ha sido relacionado epidemiológicamente con ciertos cánceres humanos (APHA, AWWA, WPCF 1992). Los vapores de cadmio y sus compuestos son quizá la causa más probable de la intoxicación por este metal, las adecuadas precauciones, tales como la buena ventilación en presencia de estos vapores, pueden evitar en gran medida los envenenamientos.

Cobalto.

Se encuentra en el grupo VIIIB de la tabla periódica entre el Fe y el Ni, lo cual le confiere características similares a estos. La toxicidad del cobalto se basa en su capacidad para acelerar la formación de hemáties y hemoglobina en el sistema humano. Se le supone algún tipo de acción catalítica, puesto que se le ha podido reconocer espectroscópicamente en la sangre. La consecuencia es una descarga de eritrocitos en la circulación, debida a la progresiva hiperplasia (multiplicación y aumento anormal del número de células) de la médula osea. El aumento del nivel de hemoglobina se debe probablemente a la producción acelerada de hemáties por la médula osea. El mecanismo anterior puede llegar a un grado peligroso con dosis suficientes de sales de cobalto

solubles o que puedan solubilizarse dentro del cuerpo. Sin embargo, es interesante advertir también que se ha comprobado la presencia del cobalto en la vitamina B₁₂, que es el principio antianémico del hígado.

Cobre.

Se encuentra en el grupo IB, su número atómico es 29; su peso es 63.54. El elemento natural es una mezcla de isótopos, Cu⁶³ con 29 protones y 34 neutrones y Cu⁶⁵ con 29 protones y 36 neutrones. Se han hallado isótopos inestables con números de masa 60, 61, 64, 66, 67, de los cuales el de mayor vida es el Cu⁶⁷, con apenas 56 horas. El potencial normal del Cu⁺⁺ es 0.34 voltios. El cobre es necesario para la síntesis de una serie de enzimas y toma parte en la glicólisis. Se sabe que el cobre es necesario para la síntesis de hemoglobina, aunque no exista el metal en la molécula misma; además forma parte de la hemocianina. La ingestión de sulfato de cobre por el hombre ocasiona vómitos, calambres y convulsiones, es suficiente una cantidad de 27 g para que pueda provocar la muerte. Gran parte de la toxicidad del cobre, tanto en los animales, como en las plantas, se debe probablemente a su combinación con los grupos tiol de ciertas enzimas, con lo que las activa. Los efectos de una exposición crónica en los animales son cirrosis hepática, trastornos del crecimiento e ictericia.

Cromo.

Se encuentra en el grupo VIB de la tabla periódica; su peso atómico es 52.01; sus valencias principales son +6 y +3. Puede penetrar por vía respiratoria, digestiva y cutánea. Al igual que otros metales, se une a las proteínas y en las células del tubo proximal del riñón y altera la filtración de proteínas.

Hierro.

Su número atómico es 26, su peso 55.85. Tiene cuatro isótopos estables con pesos atómicos de 54, 56, 57 y 58. Pertenecen al grupo VIIIB. Ocupa un lugar único en los procesos metabólicos del cuerpo animal. Es un constituyente vital de toda célula de mamífero. El papel que ejerce el hierro en el cuerpo está asociado íntimamente con la hemoglobina y el transporte de oxígeno desde los pulmones hasta las células de todos los tejidos. También está relacionado con los mecanismos de oxidación celular, que están catalizados por enzimas que contienen hierro.

Manganeso.

Existe en tres formas alotrópicas, alfa-manganeso, beta-manganeso y gamma-manganeso que son estables hasta 742, de 742 a 1100 y de 1100 a 1240 °C respectivamente. Pertenecen al grupo VIIB, con número atómico 25 y peso 55. Presenta cinco valencias: 2, 3, 4, 5 y 7. El manganeso se encuentra en la naturaleza como dióxido (MnO₂) y en menor cantidad como carbonato y silicato. Su exceso en el organismo, puede provocar enfermedades de los huesos; la inhalación de polvos de las chimeneas, provoca languidez, somno-

lencia, debilidad, disturbios emocionales y parálisis.

Níquel.

Pertenece al grupo VIIIB; su número atómico es 28 y su peso 58.69; tiene cinco isótopos estables con pesos atómicos de 58, 60, 61, 62 y 64. Aunque la información sobre la toxicidad y los mecanismos regulatorios para otros metales pesados es bien conocida, para el níquel es relativamente escasa. El hombre ingiere pequeñas cantidades de níquel sin daño aparente. Se ha encontrado que este metal no es tóxico para los mamíferos, excepto en grandes dosis.

Plomo.

Número atómico 82; peso 207.2; presenta valencia de 2 y 4; naturalmente se encuentran cuatro isótopos: 204, 296, 207 y 208, aunque también existen isótopos radiactivos artificiales. El plomo es un elemento tóxico que se acumula en el cuerpo conforme se inhala o se ingiere con los alimentos y el agua. El porcentaje de plomo en la corteza terrestre es de alrededor de 0.00002% . Sin embargo, por los usos que se dan a este elemento, las cantidades presentes en el ambiente han aumentado enormemente a partir de la revolución industrial y en la actualidad, dichas cantidades se incrementan con gran rapidez. La mayor parte del plomo que llega a ingerir el ser humano lo desecha, pero gran cantidad que no puede desalojar queda almacenado en los huesos. Este plomo puede penetrar en los fluidos del cuerpo durante una enfermedad y el tratamiento con ciertos medicamentos. Al parecer, el principal efecto tóxico del plomo es que interfiere con la producción de glóbulos rojos y otras funciones orgánicas. El envenenamiento debido al plomo constituye una posibilidad si la concentración de éste en la sangre es de 0.8 partes por millón (ppm) en adultos ó 0.4 ppm en niños. El envenenamiento grave por plomo, puede originar daños permanentes en el cerebro de los niños (Dickson 1980).

Zinc.

Pertenece al grupo IIB, tiene 11 isótopos cuyas masas oscilan desde 62 hasta 72; su peso es de 65.38; su número atómico es 30 y su potencial de electrodo es Zn^{++} -0.76 voltios. El zinc, como elemento no es tóxico por si mismo, sin embargo, muchos de sus compuestos poseen efectos nocivos cuando se inyectan o inhalan. Posiblemente su poca toxicidad se debe a la rápida eliminación del metal por el organismo. Su exceso en el organismo, puede provocar anemia e inhibición de procesos oxidativos.

ANEXO 3

TABLAS DE VALORES DE LOS INDICES DE CORRELACION Y DE LA PRUEBA t DE STUDENT

Tabla a. Valores de los índices de correlación obtenidos a partir de las concentraciones encontradas en el coral *Madracia decactis*, respecto a la profundidad. ($P > 0.05$)

Talud E	x	t	Hipótesis	Talud W	r	t	Hipótesis
CADMIO	0.770	1.20	Ho*	CADMIO	0.870	2.490	Ho
COBALTO	1.000		Ha	COBALTO	0.310	0.680	Ho
COBRE	0.680	0.92	Ho	COBRE	0.730	1.500	Ho
CROMO	0.750	1.14	Ho	CROMO	-0.64	-1.18	Ho
HIERRO	0.880	1.85	Ho	HIERRO	0.640	1.180	Ho
MANGANESO	-0.41	-0.49	Ho	MANGANESO	0.940	3.830	Ha
NIQUEL	-0.88	-1.85	Ho	NIQUEL	0.640	1.180	Ho
PLOMO	0.070	0.07	Ho	PLOMO	-0.37	-0.56	Ho
ZINC	-0.36	-0.38	Ho	ZINC	-0.02	-0.02	Ho

Tabla b. Resultados obtenidos a partir de la prueba t de Student para determinar si existen diferencias entre las concentraciones de metales pesados encontradas en los corales examinados en ambos taludes. ($P > 0.05$)

METAL	t	HIPOTESIS
CADMIO	-1.0629	Ho
COBALTO	-1.9932	Ho
COBRE	-1.6979	Ho
CROMO	0.4174	Ho
HIERRO	-1.0330	Ho
MANGANESO	-3.0096	Ha
NIQUEL	0.8339	Ho
PLOMO	-2.9147	Ha
ZINC	2.6650	Ha

- * Ho: Hipótesis de no diferencia.
Ha: Hipótesis alterna o de diferencia.

Tabla 1. Niveles de metales pesados ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) en corales de condiciones ambientales normales (sin fuentes de contaminación cercanas). Modificado de Livingston y Thompson (1971).

CADMIO	COBALTO	COBRE	CROMO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
Corales de aguas profundas de mar abierto								
<2	15.84	7.61	1.8	1130	336.23	4.38	6.92	3.84
Corales de aguas someras de mar abierto								
<2	1.66	5	10.87	370.5	98.37	5.5	4.37	23
Corales de aguas someras costeras								
<2	0.63	6.91	4.73	121	17.27	2.27	2.27	2.54
Madracis mirabilis								
<2	0.11	6.5	7.1	50	5.5	2	2	2

Tabla 2. Datos de la concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) en Madracis decactis del talud Este, del arrecife El Verde, mostrando los promedios y desviaciones estándar por profundidad.

NUMERO	PROF.	CADMIO	COBALTO	COBRE	CROMO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
1	5m	7.9	25.2	7.3	19.5	65.8	9.4	39.9	68.8	11.8
2	5m	8.1	25.5	7.3	19.7	29.9	10.8	40.1	76.8	14.3
3	5m	10.5	31.0	7.8	21.7	31.2	10.9	44.9	91.6	17.6
4	5m	7.2	25.4	7.0	21.1	36.4	16.4	41.3	57.9	11.5
5	5m	8.3	26.9	5.9	19.3	48.9	15.6	37.2	73.2	17.8
PROMEDIOS		8.42	26.80	7.08	20.24	42.44	12.61	40.69	73.65	14.6
DESV. EST.		1.23	3.04	0.87	2.79	23.01	3.81	3.11	12.31	3.57
6	10m	8.3	26.8	7.0	18.9	103.2	12.5	39.3	79.8	15.5
7	10m	6.2	23.9	6.9	19.9	33.2	11.0	37.1	54.2	13.5
8	10m	8.6	28.9	6.9	20.3	32.0	10.4	36.9	75.0	20.2
9	10m	7.5	27.2	7.9	20.9	111.4	10.4	35.7	72.9	13.8
10	10m	8.8	26.7	7.4	20.6	19.6	10.9	35.6	76.4	14.6
11	10m	8.6	30.5	7.1	21.5	38.6	10.6	53.9	92.5	12.7
12	10m	8.4	28.8	6.7	19.6	43.3	9.8	40.7	87.7	13.2
13	10m	9.5	30.5	6.9	18.2	22.1	9.7	40.6	110.6	15.1
14	10m	8.8	27.5	6.6	19.3	26.5	10.9	39.3	95.0	11.2
15	10m	8.2	28.8	7.3	20.6	20.9	9.9	45.7	87.2	10.6
PROMEDIOS		8.30	27.96	7.07	20.04	45.08	10.59	40.46	83.14	14.03
DESV. EST.		0.88	2.79	0.64	0.97	33.73	1.41	5.57	15.20	2.68
16	15m	9.2	29.2	6.4	21.9	195.8	12.4	41.4	66.7	13.8
17	15m	8.4	29.2	6.2	21.4	60.4	11.1	33.5	70.4	11.8
18	15m	8.9	29.5	5.8	19.6	45.5	11.9	26.3	81.3	11.9
PROMEDIOS		8.81	29.31	6.16	20.97	100.57	11.78	33.70	72.80	12.49
DESV. EST.		0.43	2.65	0.28	1.20	82.68	0.65	7.56	7.57	1.61

Tabla 3 Datos de la concentración de metales pesados ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) en *Madracis decactis* del talud Oeste del arrecife El Verde, mostrando los promedios y desviaciones estándar por profundidad.

NUMERO	PROF	CADMIO	COBALTO	COBRE	CROMO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
19	5m	9.6	38.1	6.9	20.6	32.1	9.7	33.1	114.5	12.8
20	5m	6.7	30.1	6.8	21.1	61.4	12.1	22.9	67.7	10.1
21	5m	5.2	28.4	7.2	23.8	33.0	10.9	35.6	78.6	6.8
22	5m	13.7	25.7	7.0	18.9	73.5	10.3	34.5	156.4	8.4
23	5m	8.7	21.4	7.1	16.2	29.9	15.2	33.6	111.5	13.5
24	5m		35.8	6.2	21.3	47.6	10.0	42.7		22.3
25	5m		31.8	8.1	20.1	28.4	11.8	37.5		12.0
PROMEDIOS		9.58	30.18	7.07	20.28	43.69	11.42	34.28	105.73	12.28
DESV. EST.		2.54	5.72	0.57	2.34	17.75	1.89	5.99	34.85	5.03
26	10m	9.0	28.3	6.3	19.8	23.3	10.8	37.3	74.6	6.9
27	10m	10.2	27.3	7.0	20.3	19.5	9.9	38.0	93.4	15.6
28	10m		27.7	5.7	18.5	73.7	10.9	42.7		5.3
29	10m		25.3	6.9	23.5	118.3	11.5	37.8		6.5
30	10m		25.4	7.8	22.6	173.6	13.9	40.8		14.4
PROMEDIOS		9.59	26.68	6.75	20.93	81.68	11.42	39.31	83.96	9.75
DESV. EST.		0.80	1.37	0.78	2.07	65.43	1.52	2.34	13.28	4.83
31	15m	7.6	29.3	7.3	19.3	46.5	10.9	35.5	86.3	13.3
32	15m	9.2	27.2	7.6	18.9	33.9	11.1	35.4	90.7	16.5
33	15m	7.7	32.9	7.4	20.3	61.1	16.7	33.3	103.2	14.8
34	15m	8.4	25.0	7.9	20.3	193.4	17.0	36.3	72.4	12.9
35	15m	8.0	35.7	7.3	19.4	29.9	10.3	44.8	90.5	14.1
36	15m	8.9	30.3	6.7	20.1	66.2	10.3	35.9	90.9	10.7
PROMEDIOS		8.45	30.10	7.37	19.71	71.83	12.73	36.87	88.9	13.7
DESV. EST.		0.65	5.06	0.98	3.06	62.67	3.39	5.22	9.91	2.42
37	20m	11.6	31.8	7.6	19.4	53.0	13.2	41.5	110.7	11.5
38	20m	8.3	29.2	7.8	19.3	119.1	14.3	36.9	87.6	12.5
39	20m	5.1	29.5	7.6	20.6	81.9	16.6	40.4	105.2	8.1
40	20m	9.1	27.9	7.9	20.1	80.2	12.2	38.7	103.9	9.8
41	20m	8.9	32.5	6.6	19.5	49.7	15.6	37.4	75.0	9.4
42	20m	7.8	30.4	7.5	18.9	52.8	16.9	43.5	69.5	8.2
43	20m	7.9	27.8	6.9	21.0	80.5	12.7	38.9	77.6	7.9
44	20m	9.7	37.4	7.5	18.8	112.6	14.2	36.4	113.2	14.6
45	20m	8.8	28.4	7.5	20.1	43.9	10.9	36.9	111.3	9.1
PROMEDIOS		8.58	30.52	7.47	19.73	74.85	14.08	38.97	94.89	10.12
DESV. EST.		1.73	3.03	0.99	2.61	37.97	3.39	5.26	17.43	2.95

Tabla 4. Concentraciones promedio de metales pesados ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en el y total en el coral pétreo *Madracis decactis* del arrecife El Verde, Veracruz.

TALUD	CADMIO	COBALTO	COBRE	CROMO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
BSTE	8.4	27.9	6.9	20.3	53.6	11.4	39.4	78.8	13.9
DV.BST.	0.885	1.999	0.583	0.994	42.706	1.828	5.493	13.398	2.497
OESTE	8.9	29.7	7.2	20.1	67.4	12.6	37.4	94.8	11.4
DV.BST.	1.625	3.864	0.575	1.518	42.769	2.377	4.195	20.219	3.713
TOTAL	8.7	28.9	7.1	20.2	61.9	12.1	38.2	87.6	12.4
DV.BST.	1.361	3.366	0.579	1.336	43.273	2.258	4.961	19.203	3.507

Tabla 5. Estudios realizados en diversas partes del mundo donde se han obtenido los niveles de metales pesados en varias especies de corales. (Valores dados en µg/g de peso seco).

AUTOR/LOCALIDAD/ESPECIE	CADMIO	COBALTO	COBRE	CROMO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
Veeh y Turekian 1968.									
Hawaii (H), Samoa (S), Tahiti (Ta), Tuamotu (Tu).									
Pocillopora (H)		0.007							
Leptastrea (H)		0.12							
Leptoria (S)		0.002							
Acropora (S)		0.004							
Pocillopora (Ta)		0.001							
Acropora (Ta)		0.004							
Favia (Tu)		0.011							
Fungia (Tu)		0.002							
Brown y Howard 1985									
Phuket, Thailandia (tejido)									
Fungia fungites									
Zona A (contaminada)			26.4						269
Zona B (control)			22.5						382
Zona C (control)			26.0						363
Pocillopora damicornis									
Zona A (contaminada)			43.0						394
Zona B (control)			33.7						511
Zona C (control)			40.3						246
(esqueleto)									
Fungia fungites									
Zona A (contaminada)			0.6						0.7
Zona B (control)			0.75						1.3
Zona C (control)			0.8						0.3
Pocillopora damicornis									
Zona A (contaminada)			0.5						2.25
Zona B (control)			0.6						1.7
Zona C (control)			0.5						1.45
Denton y Burdon-Jones 1986									
Arr. de la Gran Barrera (AGB)									
Acropora formosa									
Lizard Island (Norte AGB)	0.14		0.21				0.56	<0.23	0.9
Orpheus Island (Centro AGB)	0.08		0.16				0.12	<0.29	0.57
Heron Island (Sur AGB)	0.14		0.2				0.38	<0.3	1.1
Fungia concinna									
Lizard Island	0.03		0.38				0.09	<0.11	1.3
Fungia fungites									
Orpheus Island	0.02		0.3				<0.03	<0.15	0.75
Heron Island	0.09		0.27				<0.03	<0.12	0.74

Tabla 5 (cont.)

AUTOR/LOCALIDAD/ESPECIE	CADMIO	COBALTO	COBRE	CROMO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
Howard y Brown 1986									
Phuket, Thailandia (tejido)									
Fungia fungites									
Zona A (contaminada)		1.8	18.9	6.5	450	100	3.5		141.0
Zona B (control)		2.5	24.5	21.9	35.0	ND	3.8		180.5
Zona C (control)		4.9	35.4	27.4	2400	100	9.9		198.5
Pocillopora damicornis (esqueleto)		14.7	68.0	100	2400	ND	30.4		379.0
Fungia fungites									
Zona A (contaminada)		ND	23.4	ND	ND	ND	ND		2.9
Zona B (control)		ND	18.8	ND	ND	ND	ND		12.3
Zona C (control)		ND	12.9	ND	ND	ND	ND		ND
Pocillopora damicornis		ND	11.1	ND	ND	ND	ND		2.8
Howard y Brown 1987									
Phuket, Thailandia (tejido)									
Pocillopora damicornis									
Zona A (contaminada)		23.9	73.4	160.0	4000	ND	44.3		608
Zona B (control)		10.6	50.9	62.8	1900	ND	19.5		182
Zona C (control)		9.7	79.8	85.5	1500	ND	26.3		347
(esqueleto)									
Pocillopora damicornis									
Zona A (contaminada)		ND	10.5	ND	ND	ND	ND		2.7
Zona B (control)		ND	11.6	ND	ND	ND	ND		0.1
Zona C (control)		ND	11.4	ND	ND	ND	ND		5.6
Glynn et al. 1989									
Florida Reef Tract, E.U. Bache Shoal Reef									
Colpophyllia natans	<0.3		10.66		56.0			<1.0	
Diploria clivosa	<0.3		8.0		53.0			<1.0	
Montastrea annularis	<0.3		11.66		52.33			<1.0	
Porites astreoides	<0.3		11.33		52.0			<1.0	
Siderastrea radians	<0.3		8.0		53.0			<1.0	
Alina's Reef									
Colpophyllia natans	<0.19		2.83		38.5			7.36	
Diploria clivosa	<0.23		5.66		34.66			3.63	
Diploria strigosa	<0.26		9.16		30.0			2.72	
Montastrea annularis	<0.3		10.66		23.33			<1.0	
Porites astreoides	<0.26		33.66		23.6			6.19	
Siderastrea radians	<0.22		5.66		40.33			6.3	
Guzmán y Jiménez 1992									
Centroamérica									
Siderastrea siderea									
Costa Rica	7.5		2.0	7.3	113.2	7.3	91.6	31.0	10.2
Panamá	7.6		3.8	9.9	70.8	6.9	93.7	32.3	8.9
Centroamérica (total)	7.6		3.3	9.3	81.9	7.0	93.1	32.0	9.2

Tabla 5 (cont.)

AUTOR/LOCALIDAD/ESPECIE	CADMIO	COBALTO	COBRE	ORO	HIERRO	MANGANESO	NIQUEL	PLOMO	ZINC
Horta-Puga 1991									
Arrecife El Verde, Ver.									
Diploria clivosa	2.99	26.08	17.29	7.11	223.75	ND	18.65	68.46	10.32
Diploria strigosa	3.49	32.77	21.46	5.22	325.27	59.17	35.35	55.88	11.34
Montastrea annularis	4.43	25.21	23.75	4.46	142.22	17.05	22.08	64.63	19.69
Siderastrea radians	4.65	28.34	47.66	8.38	722.46	ND	53.88	44.0	79.32
Ramírez Palacios 1993									
Veracruz, México									
Montastrea annularis								62.5	
Horta-Puga 1993									
Veracruz, México.									
Montastrea annularis	4.79		5.33	75.57	30.2		43.26	48.18	26.65
Este Estudio									
Madracis decactis	8.66	28.93	7.1	20.15	61.85	12.1	38.17	87.56	12.42

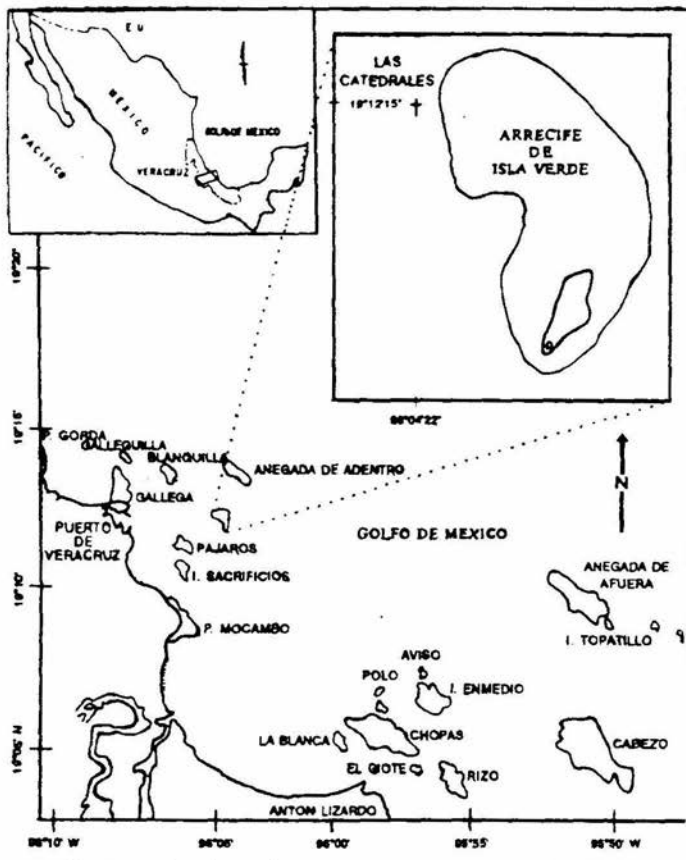


Figura 1. Localización del arrecife El Verde

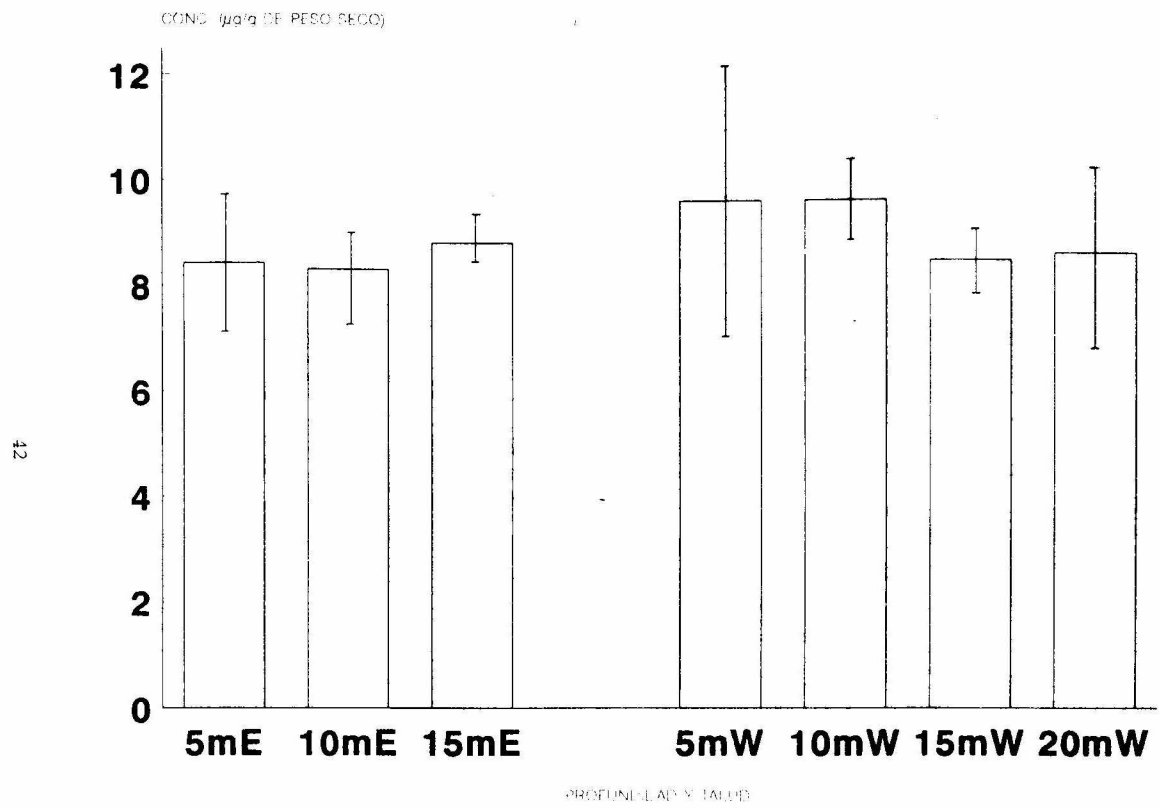


Figura 2. Concentraciones promedio de cadmio ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E= Talud Este; W= Talud Oeste)

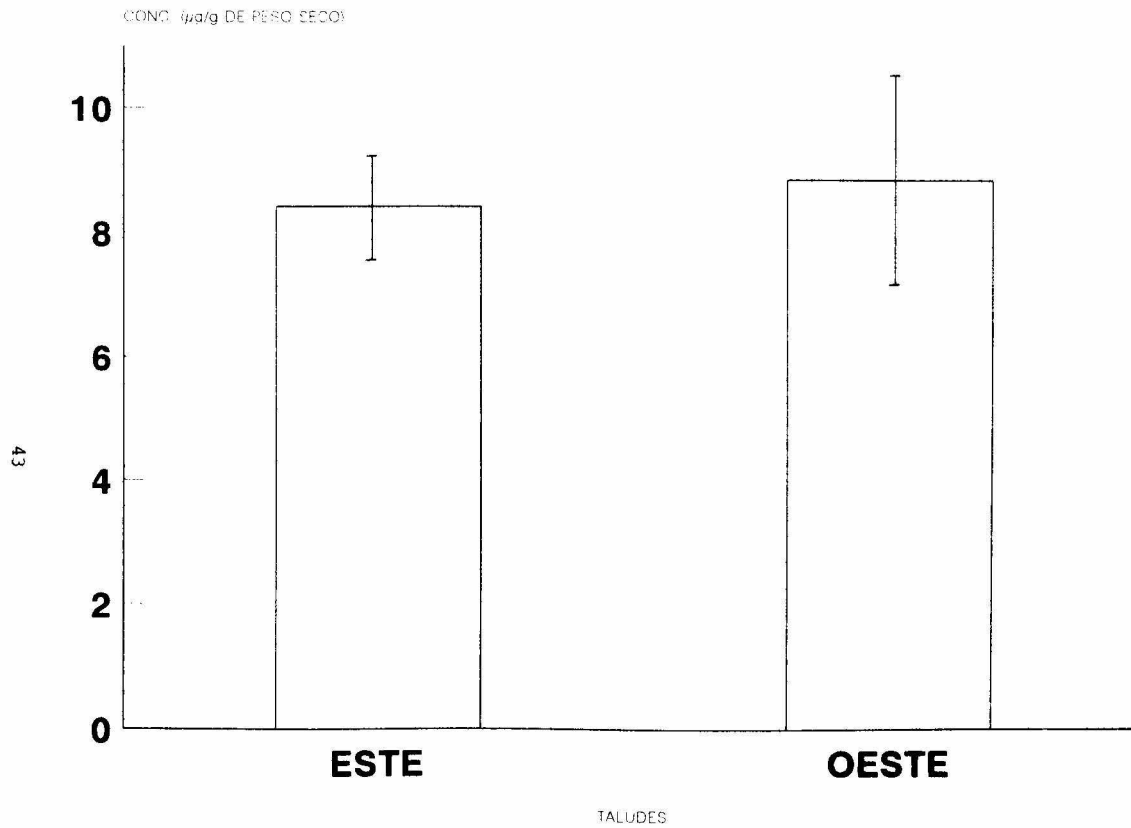


Figura 3. Concentraciones totales de cadmio ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Mdracis decactis* del arrecife El Verde

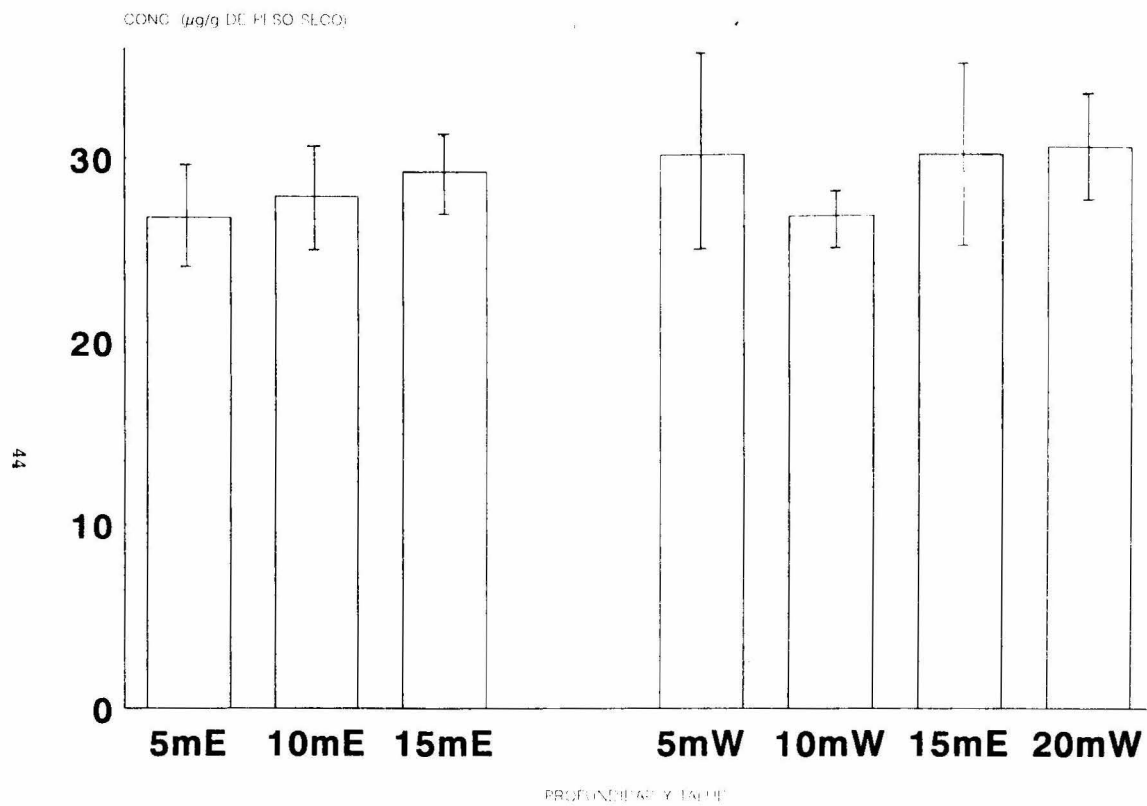


Figura 4. Concentraciones promedio de cobalto ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E = Talud Este; W = Talud Oeste)



Figura 5. Concentraciones totales de cobalto ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde

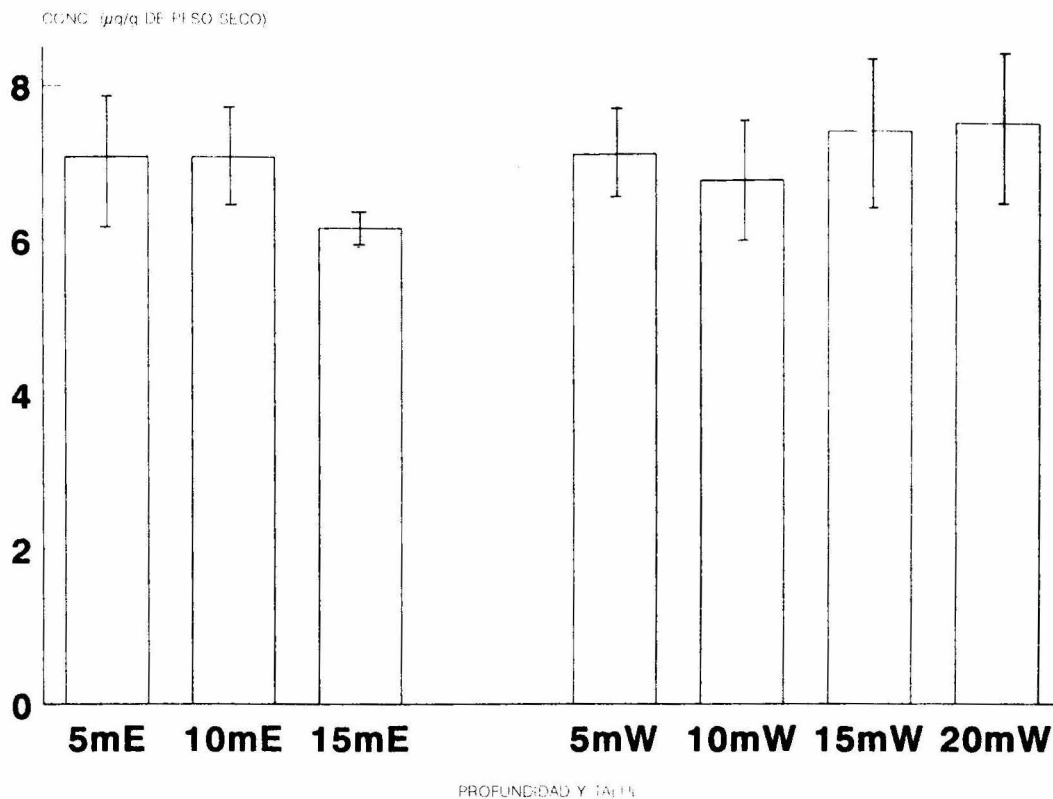


Figura 6. Concentraciones promedio de cobre ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E=Talud Este; W=Talud Oeste)

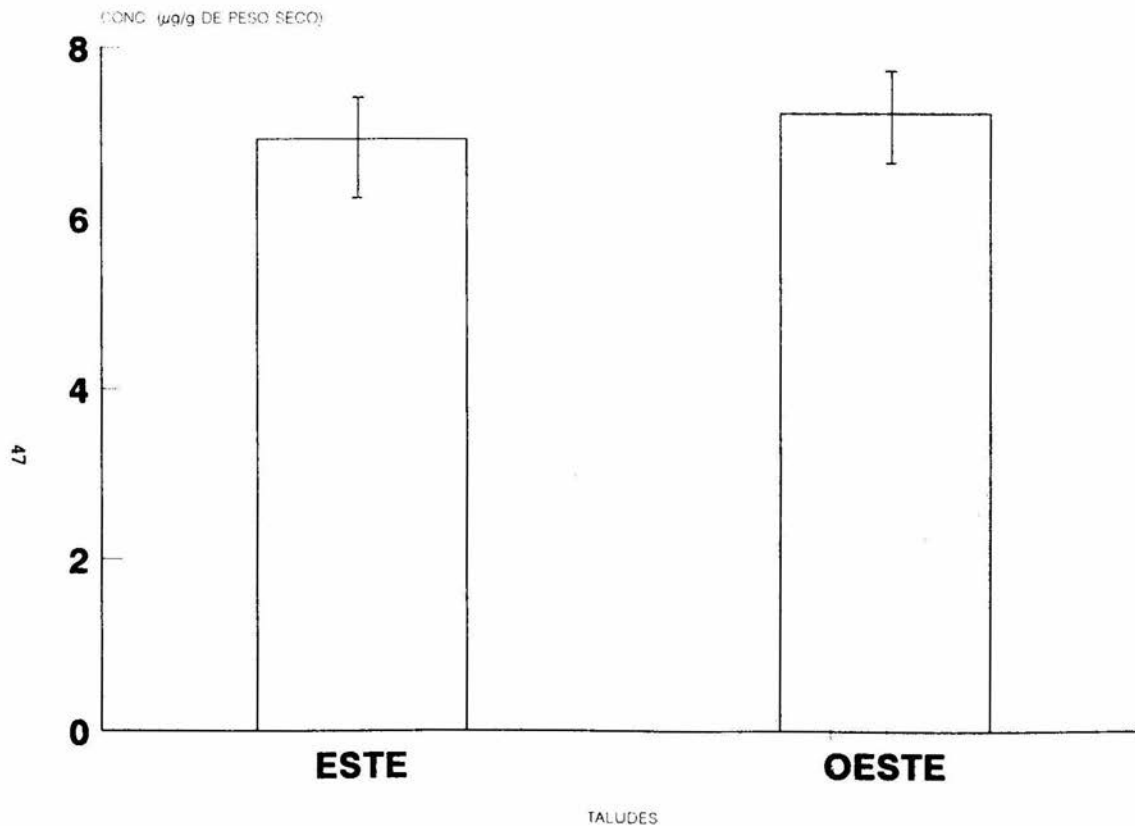


Figura 7. Concentraciones totales de cobre ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis del* arrecife El Verde

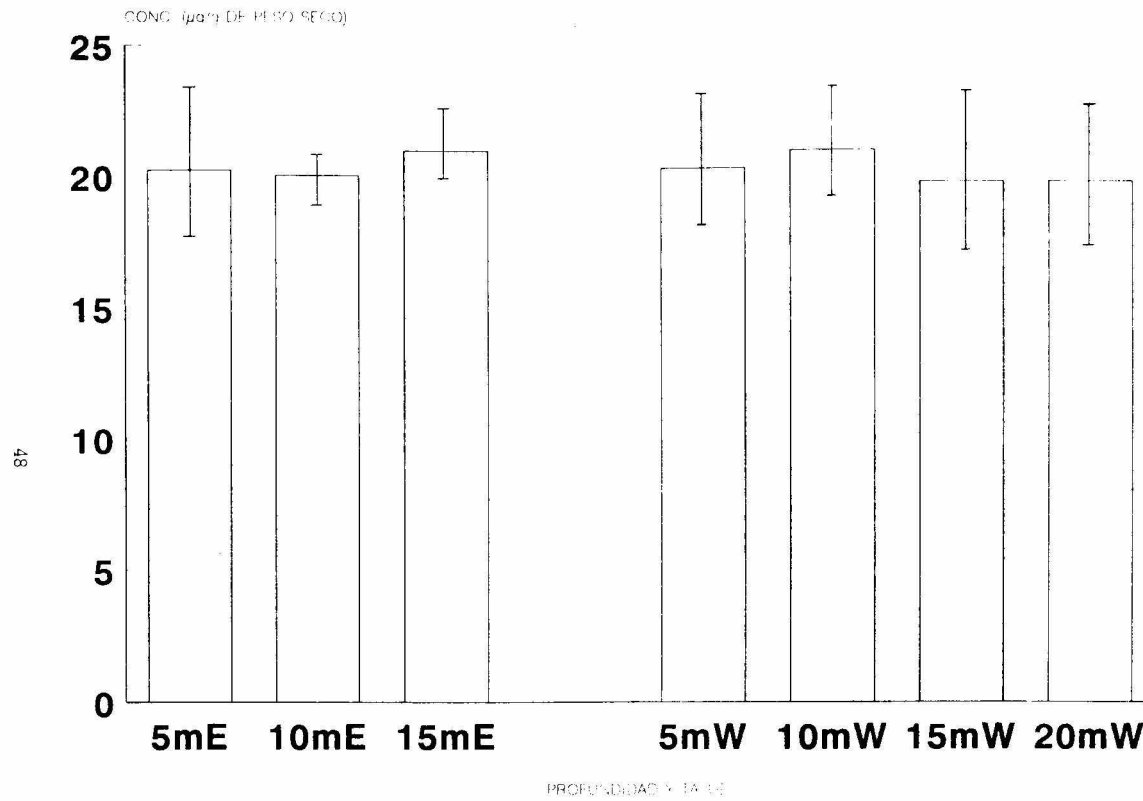


Figura 8. Concentraciones promedio de cromo ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E = Talud Este; W = Talud Oeste)

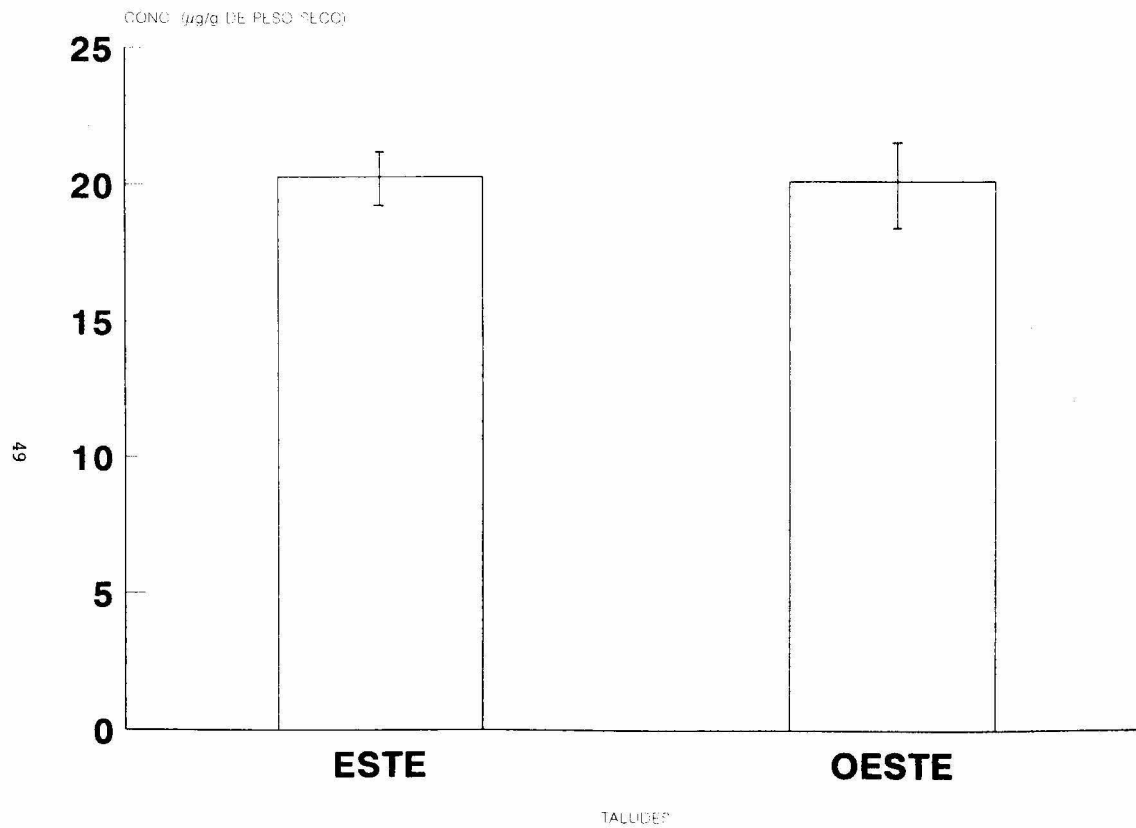


Figura 9. Concentraciones totales de cromo ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde

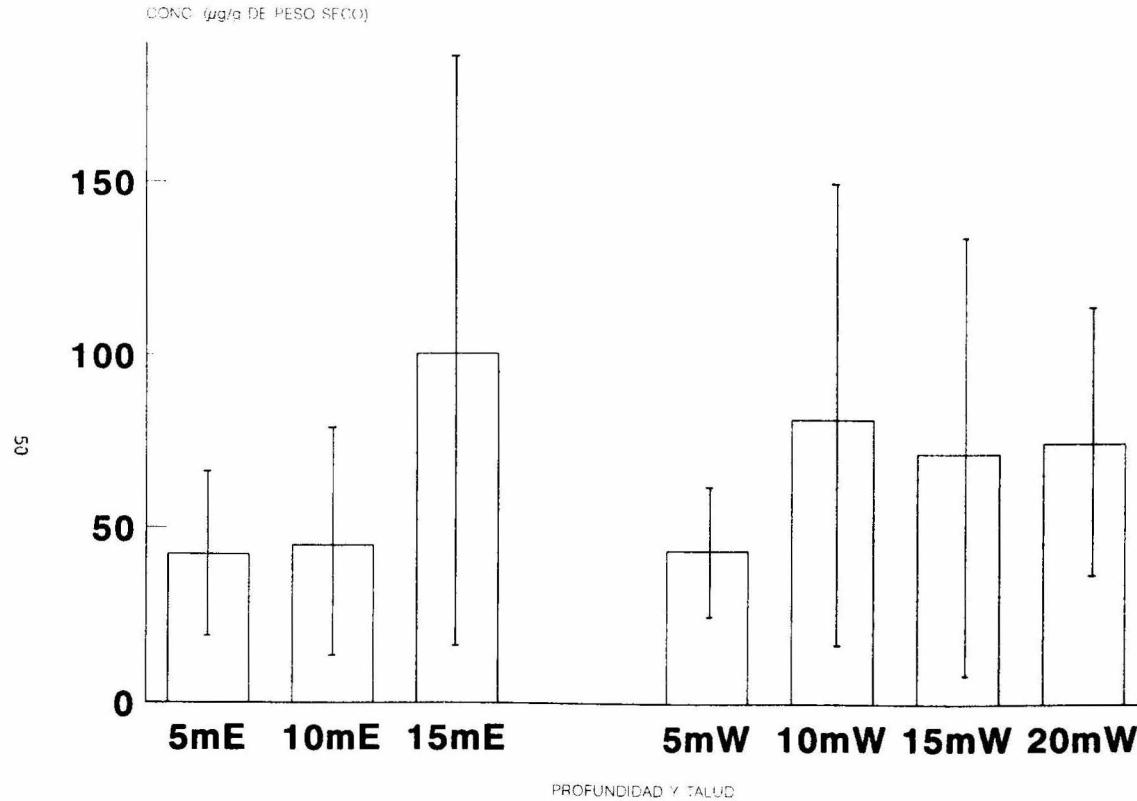


Figura 10. Concentraciones promedio de hierro ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E=Talud Este; W=Talud Oeste)

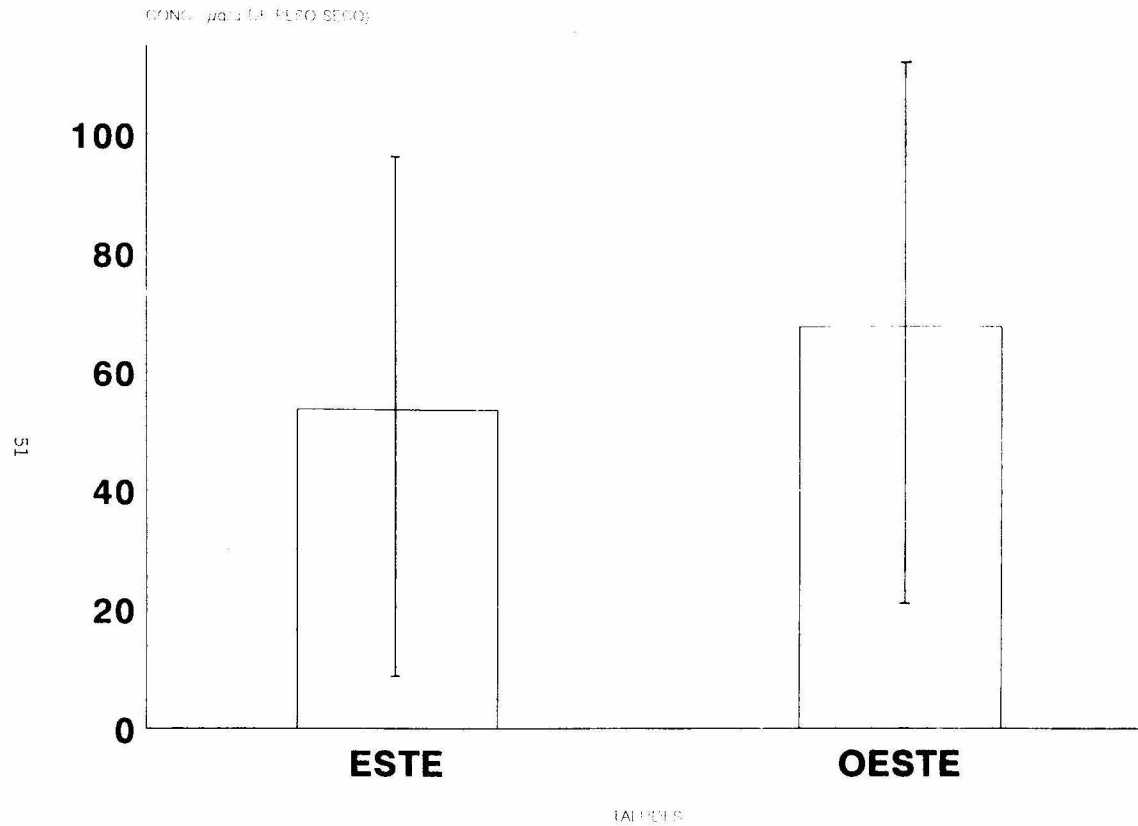


Figura 11. Concentraciones totales de hierro ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde

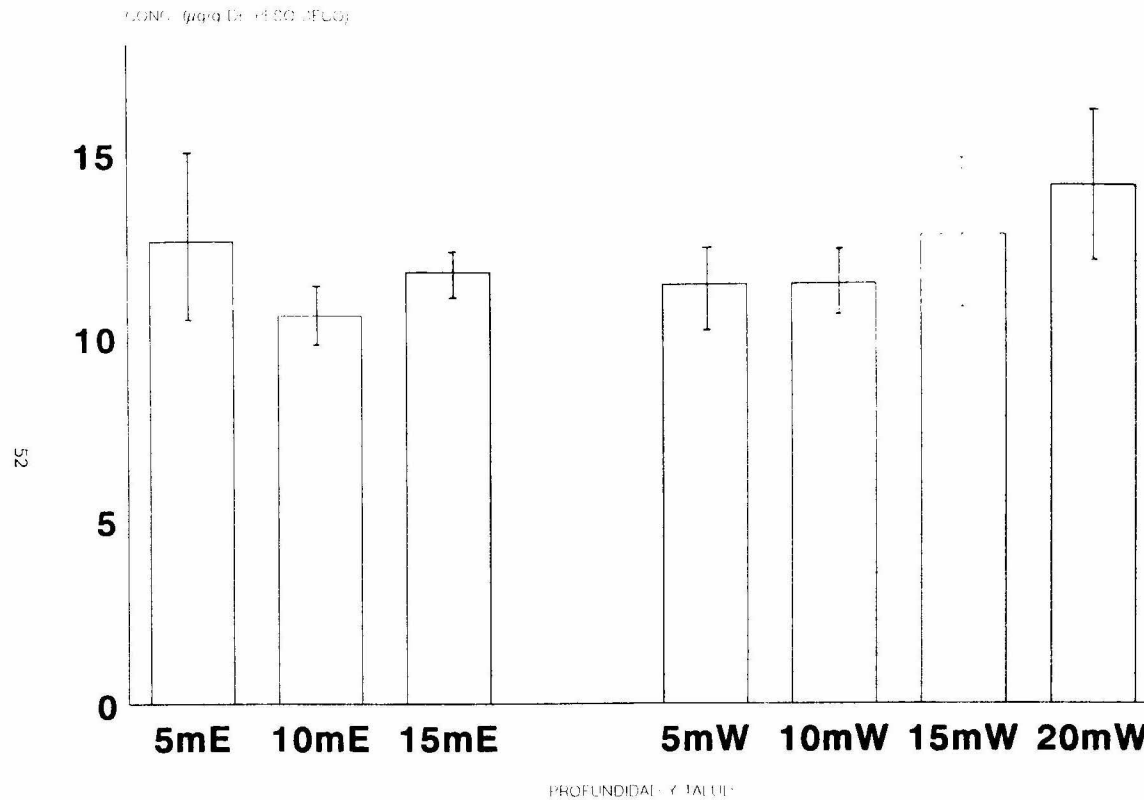


Figura 12. Concentraciones promedio de manganeso ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E=Talud Este; W=Talud Oeste)

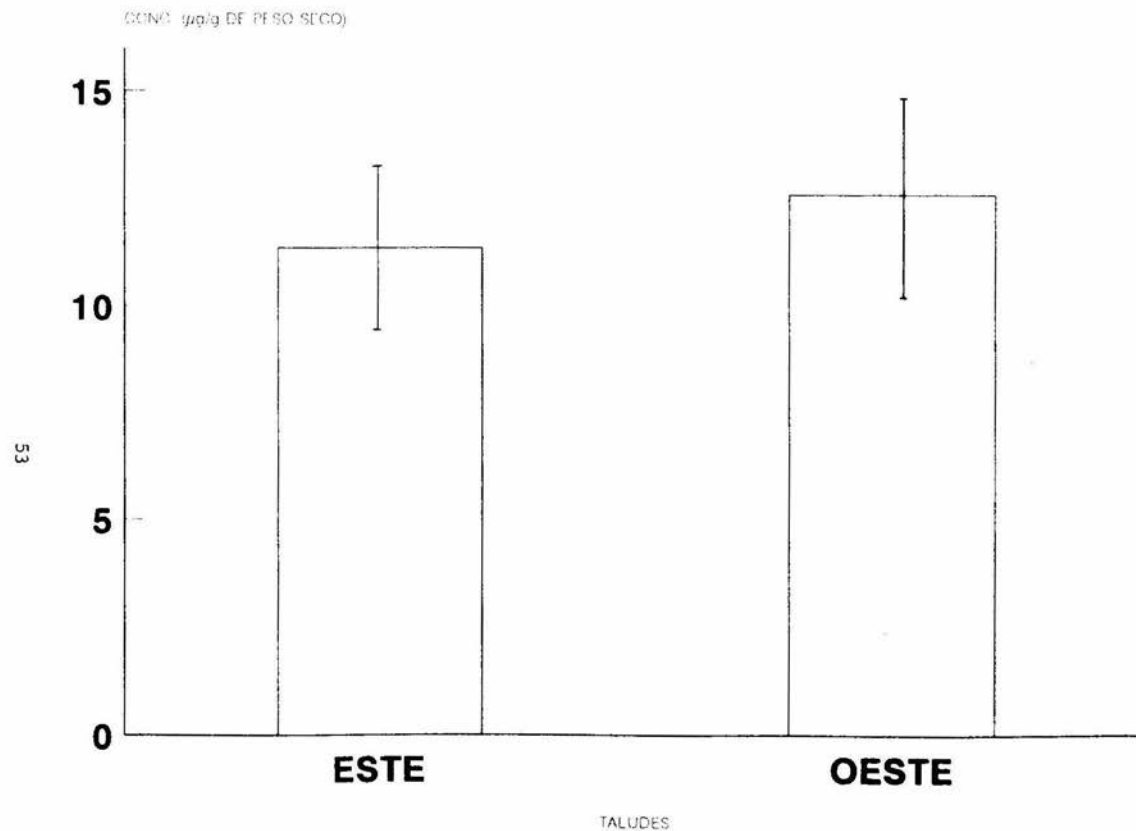


Figura 13. Concentraciones totales de manganeso ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde

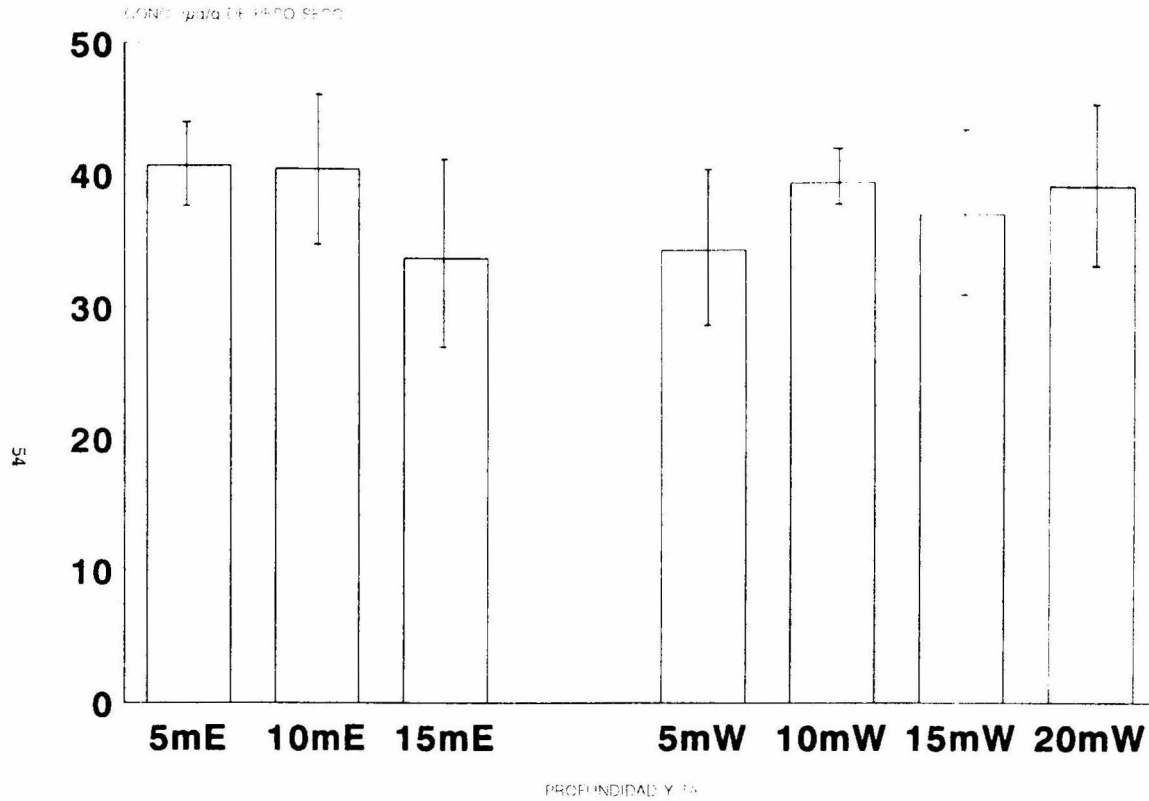


Figura 14. Concentraciones promedio de níquel ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E=Talud Este; W=Talud Oeste)

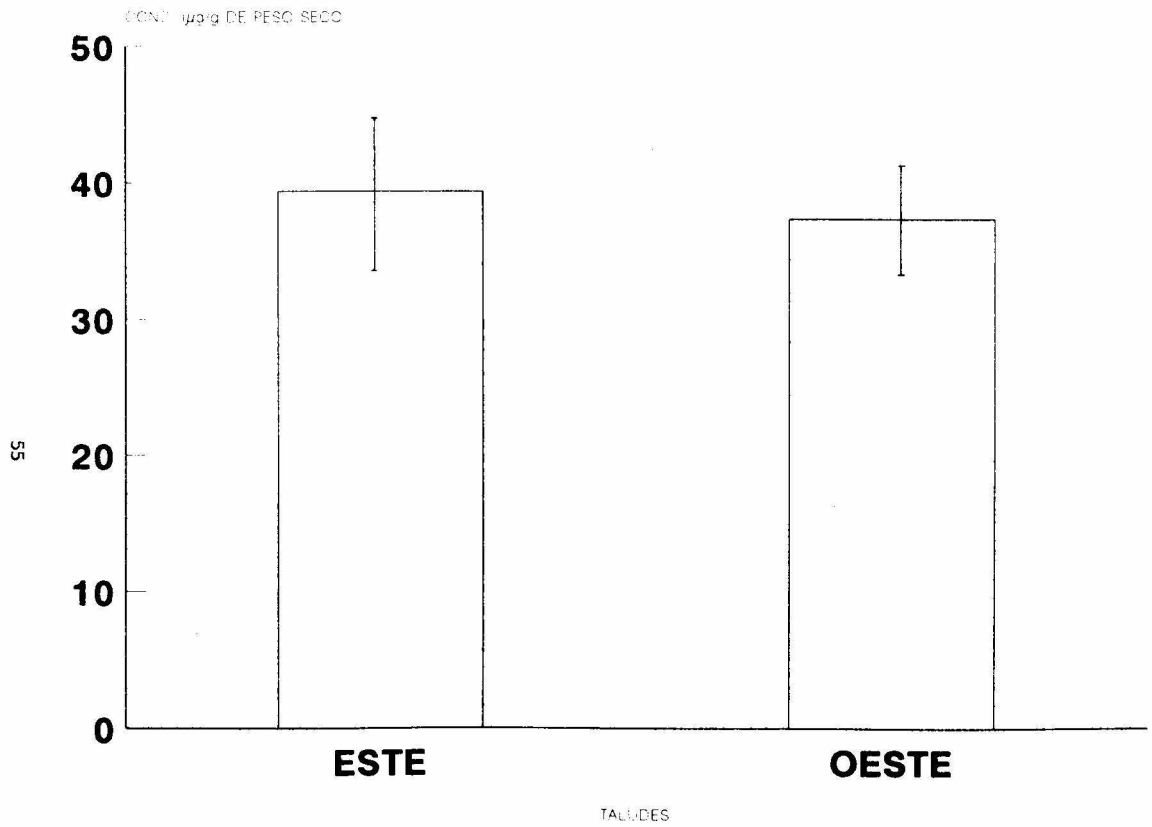


Figura 15. Concentraciones totales de níquel ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde

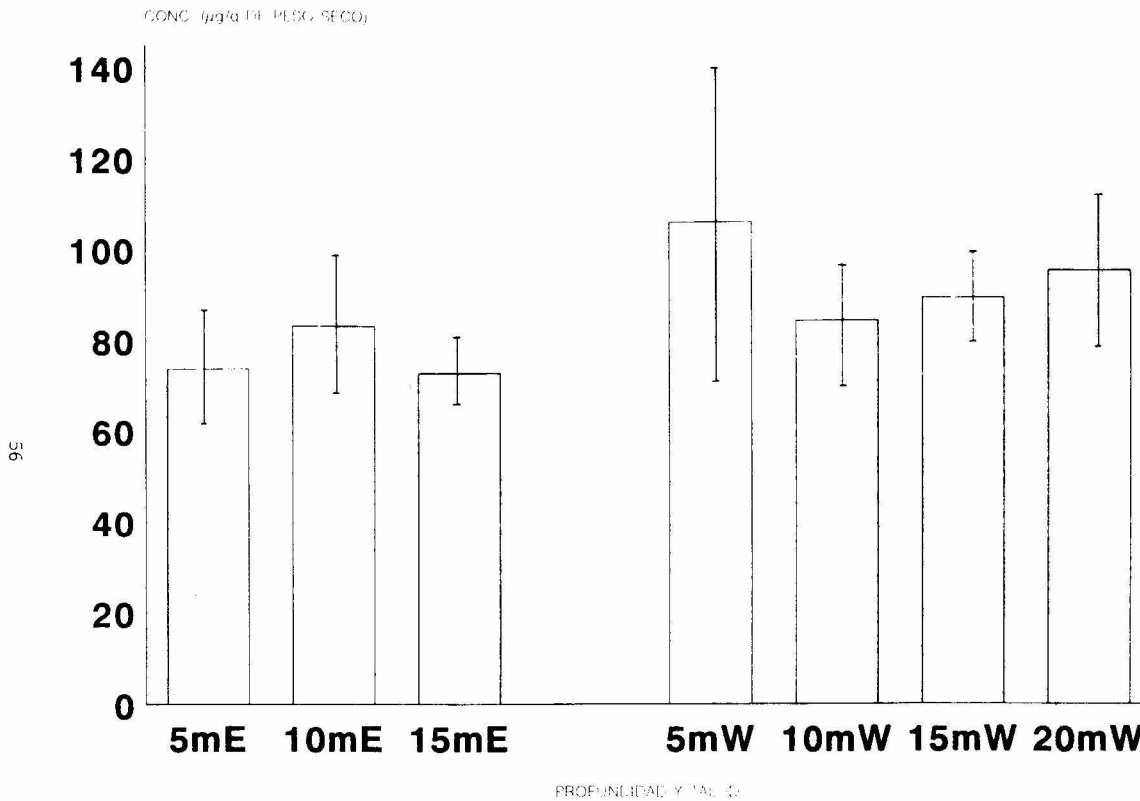


Figura 16. Concentraciones promedio de plomo ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E=Talud Este; W=Talud Oeste)

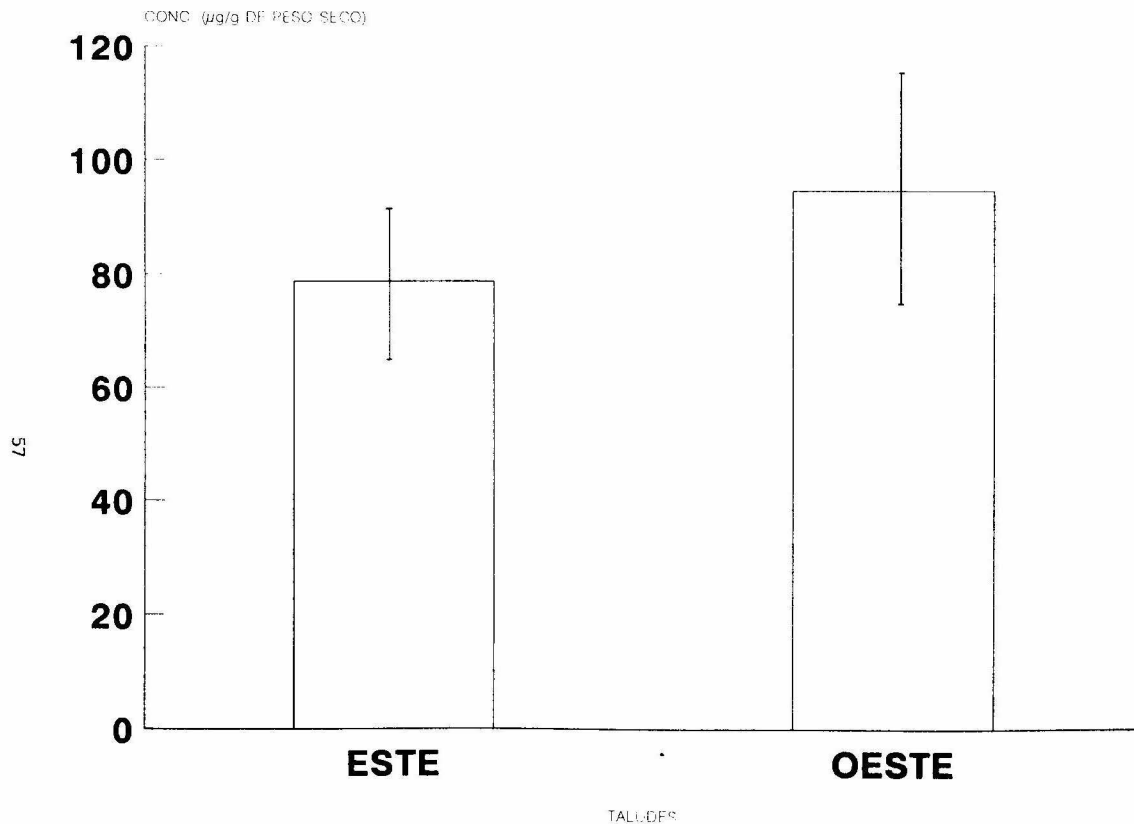


Figura 17. Concentraciones totales de plomo ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde

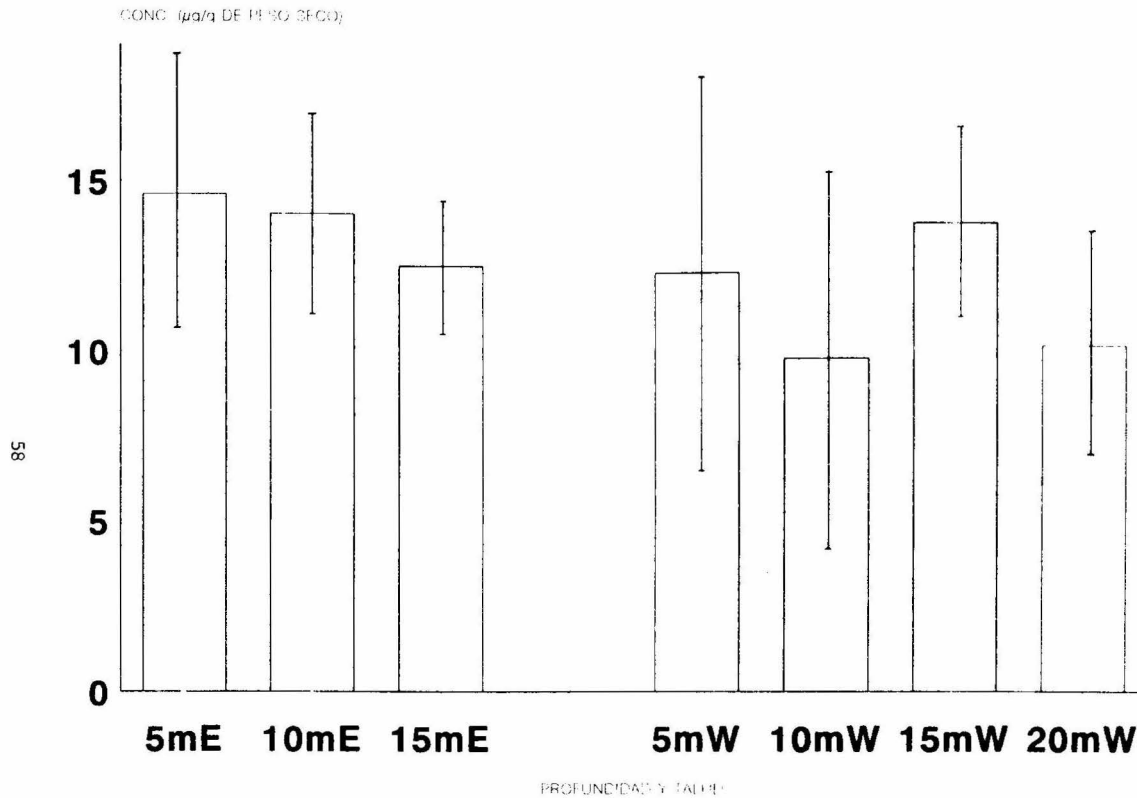


Figura 18. Concentraciones promedio de zinc ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por profundidad en dos taludes del arrecife El Verde, en *Madracis decactis* (E = Talud Este; W = Talud Oeste)



Figura 19. Concentraciones totales de zinc ($\mu\text{g/g}$ de peso seco) por talud en *Madracis decactis* del arrecife El Verde