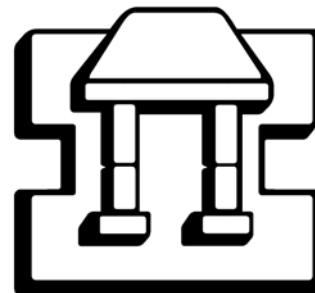




UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
IZTACALA

Reconstrucción ambiental de la región de
Cancún con base en la fracción total de Cadmio
presente en corales escleractinios.

T E S I S
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
B I O L O G A
P R E S E N T A:
MARISOL AVILA ROMERO

DIRECTOR DE TESIS: DR. GUILLERMO JAVIER HORTA PUGA

TLALNEPANTLA, ESTADO DE MÉXICO

2007





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A mis padres Alejandro Avila Cortés y Alma Rosa Romero Romero por todo lo que me han dado en la vida y porque no alcanzan las palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Porque gracias a ustedes he llegado a la culminación de este logro, por ser mi apoyo incondicional y por estar en todo momento a mi lado. Quiero que este triunfo lo sientan como suyo, los amo.

A mi hermana Marlene Avila Romero. “Mar” has sido más que una hermana eres mi mejor amiga, mi confidente y mi cómplice. Gracias por siempre estar ahí cuando te necesito. Porque hemos compartido infinidad de momentos. Hemos reído y llorado, pero siempre las dos juntas. Y porque se que en tí siempre voy a encontrar un gran apoyo, te amo.

A mi “abuelita” Inés Romero Corona gracias por existir. Porque gracias a tí ahora soy una persona de provecho, por cuidarme tantos años con todo el cariño del mundo y por haberme enseñado tantas cosas. Por ser siempre el apoyo más grande para mis papás y para mí, te adoro.

A mi hermana Gabriela Rivas Romero. “Flaca” gracias por todos los momentos que hemos vivido. Por brindarme siempre tu ayuda, por hacerme parte de tí y porque tú sabes que siempre nos ha unido un sentimiento muy grande a las tres, te quiero.

A mis tías Irma Estela Romero Romero y Marisela Romero Romero. Mi “Mamá Lulú” y Mi “Mamá Chata” por verme siempre como a una hija, porque siempre han estado al pendiente de mí y por ayudar incondicionalmente a mis papás, en todo momento. Gracias por estar siempre para mí, las quiero muchísimo.

A mi tío Joaquín Gloria Romero. Gracias “Juaco” por hacerme una persona más culta con cada una de las cosas que me enseñas y por hacerme parte de tu vida.

Con el más sincero agradecimiento y profundo respeto:

A el Dr. Guillermo Javier Horta Puga por ser no solo un excelente tutor, sino un gran amigo. Gracias "Profe" por haberme enseñado tantas cosas que no sabía, por aceptar que trabajara con usted. Gracias por toda la ayuda, comentarios, observaciones que me hizo para la realización de este trabajo. Y porque usted sabe que en mi vida hay una gran parte de usted. Gracias por todo.

Al Biólogo José Luis Tello Musi por todo tu apoyo durante toda la carrera y por la gran ayuda para la elaboración de este trabajo. Gracias por todo José Luis, tú sabes que siempre has sido más que mi maestro, eres un gran amigo para mí. Gracias por todos los momentos que vivimos juntos, por tus palabras, por tus consejos y por tu tiempo.

A Dr. Sergio González Moreno por cada una de las aportaciones que realizó para este trabajo y por su tiempo invertido.

A la Dra. María del Rosario Sánchez Rodríguez por toda la ayuda brindada y por cada uno de los comentarios para mi trabajo.

Al Dr. Cesar Mateo Flores Ortiz por el tiempo para la revisión de este trabajo y por sus valiosas sugerencias.

A el Dr. Guillermo Avila Acevedo porque usted sabe que para mi fue un gusto que haya revisado mi tesis, por todas las aportaciones para este trabajo. Y porque siempre me ha recibido en el que nunca dejará de ser mi laboratorio.

A la M. en C Ana María García Bores por ser mi tutora durante mucho tiempo y por todas las grandes observaciones que hizo a mi trabajo. Gracias por tener siempre tiempo para escucharme, para enseñarme, para motivarme y para aconsejarme. Gracias por ser mi amiga y hacerme sentir que nunca he dejado de ser parte del Laboratorio de Fitoquímica.

Al Biólogo Agustín Vargas V. por la gran ayuda para los análisis estadísticos de este trabajo, gracias por siempre tener tiempo para mí, por sus explicaciones y por su paciencia.

A mi Laboratorio de Biogeoquímica a los biólogos Martha Arcelia Urzua Meza, Margarita Moreno Ramírez y Luis Barbo Hernández Portilla a mis amigos Josué Núñez Rico y Abigail Morales Díaz, por todos los momentos que hemos vivido en el laboratorio y en el campo. Porque gracias a ustedes el trabajo se vuelve más ameno y por enseñarme tantas cosas.

A mis dos grandes amigas Victoria Domínguez Catzin y Aura Aletse Morales Aranda por todos los momentos buenos y malos que hemos vivido juntas, los cuales nos han hecho más fuertes. Porque siempre han estado ahí conmigo cuando más las he necesitado y por brindarme su amistad incondicional. Ojala siempre seamos amigas como hasta ahora.

ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen.....	1
Introducción.....	3
Materiales y método.....	10
Resultados y discusión.....	20
Conclusiones.....	32
Bibliografía.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Número de años de registro coralino y periodo de tiempo que abarcan cada localidad.....	14
Cuadro 2. Tiempo y modo de secado, calcinado y atomizado para la cuantificación analítica de Cd.....	17
Cuadro 3. Concentración de Cd en ng/g obtenidos del coral <i>Montastraea annularis</i> colectado en Punta Nizuc, Cancún. Periodo de 1946 a 1997. Las cantidades marcadas con (*) son elevadas y posiblemente contaminadas y ND= niveles no detectables.....	21
Cuadro 4. Estudios realizados en diversas partes del mundo donde se han obtenido niveles de Cd en varias especies de corales (valores dados en µg/g de peso seco).....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Diagrama metodológico.....	10
Figura 2. Mapa de localización de Majahual, Punta Nizuc y Xcalak. Tomada de Medina Elizalde <i>et al.</i> 2002.....	12
Figura 3. Mapa de localización de Speyside, Tobago.....	12
Figura 4. Curva de calibración utilizada para la cuantificación de Cd.....	18
Figura 5. Positivo de rayos X del coral <i>Montastraea annularis</i> colectado en Cancún, Quintana Roo banda anual de crecimiento consiste en una banda adyacente negra y blanca. Tomada de Medina Elizalde <i>et al.</i> 2002.....	20
Figura 6. Concentración de Cd (ng/g) obtenida del coral <i>Montastraea annularis</i> colectado en Punta Nizuc, Cancún. Periodo de 1946 a 1997.....	22
Figura 7. Concentración de Cd (ng/g) obtenida del coral <i>Montastraea annularis</i> colectada en Punta Nizuc, Cancún. Periodo de 1946 a 1997. Datos filtrados utilizando una media móvil con ventana de 5 años.....	23
Figura 8. Concentración de Cd (ng/g) obtenida del coral <i>Montastraea annularis</i> colectado en la Anegada de Adentro, Veracruz. Periodo de 1835 al 2002.....	26
Figura 9. Sistemas fluviales que desembocan en la proximidad del SAV. I Río Actopan (La antigua); II Río Jamapa; III Río Blanco; IV Río Papaloapan (Fuente: IRIS, INEGI).....	26
Figura 10. Precipitación pluvial anual total y concentración de Cd de la región de Punta Nizuc contra periodo de tiempo (1950-1985). Datos filtrados utilizando una media móvil con ventana de 5 años.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

Palabra	Abreviatura
Bifenilos policlorados.....	PCB's
Carbonato de Calcio.....	CaCO ₃
Calcio.....	Ca
Metal.....	M
Cobre.....	Cu
Cinc.....	Zn
Uranio.....	U
Magnesio.....	Mg
Estroncio.....	Sr
Bario.....	Ba
Sodio.....	Na
Potasio.....	K
Aluminio.....	Al
Hierro.....	Fe
Silicio.....	Si
Cadmio.....	Cd
Plomo.....	Pb
Manganeso.....	Mn
Niquel.....	Ni
Agua deionizada.....	AD

Palabra	Abreviatura
Sistema arrecifal veracruzano.....	SAV
Ácido nítrico.....	NHO ₃
Solución amortiguadora de acetato de amonio.....	CH ₃ COONH ₄
Cloruro de cobalto.....	CoCl ₂
Pirrolidin ditiocarbamato de amonio.....	APDC
Cationes metálicos.....	M ²⁺
Nanogramos.....	ng
Gramos.....	g
Microgramo.....	μg
Mililitro.....	ml
Microlitro.....	μl
Partes por billón.....	ppb
Policloruro de vinilo.....	PVC
Niveles no detectables.....	ND
Materia orgánica particulada.....	POM
Climate Research Unit, University of East Anglia.....	UEA-CRU
Arrecife de la Gran Barrera.....	AGB
Instituto de Investigaciones Oceanológicas.....	IIO
Potencial de hidrógeno.....	pH
Figura.....	Fig.

RESÚMEN

El esqueleto de los corales escleractinios crece básicamente por la depositación continua de CaCO_3 , formando bandas de diferente densidad las cuales representan un año de crecimiento coralino. Se ha demostrado que el Cd puede sustituir al Ca en la molécula de carbonato coralino, en proporción a su concentración en columna de agua lo que permite la reconstrucción paleoquímica y ambiental. En la Península de Yucatán se ha desarrollado un sistema cárstico complejo que forma un acuífero subterráneo, en el cual el agua de lluvia fluye hacia el océano, lo que favorece el transporte de elementos traza disueltos contribuyendo a aumentar los niveles de Cd en el océano. Por tanto se utilizó el registro geoquímico de Cd contenido en las bandas anuales de crecimiento del coral *Montastraea annularis*, recolectado en el área de Cancún, Q. Roo, para correlacionar los cambios de su concentración en columna de agua con el régimen de precipitación pluvial en el área. Para la realización de este trabajo se usaron colonias previamente colectadas en 1998 del coral *Montastraea annularis* de localidades del Caribe Mexicano: Majahual, Punta Nizuc, Xcalak. Adicionalmente se uso otra colonia recolectada en 1988, en Speyside, Isla de Tobago. En cada colonia se separó una muestra de cada banda anual, para determinar por espectrofotometría de absorción atómica con atomización electrotérmica, la concentración de Cd en la fracción total. Se analizaron las muestras de los corales de Majahual, Xcalak y Speyside, y en todos los casos los valores de Cd fueron no detectables. En el caso del coral de Punta Nizuc, el registro abarcó el periodo de 1946 a 1997. El promedio de la concentración de Cd fue de 1.33 ± 0.68 ng/g. Los niveles de Cd fueron elevados en comparación con otros datos procesados en el laboratorio de muestras del SAV. Esto se debe a que en Cancún no existe gran cantidad de materia orgánica particulada la cual atraiga electrostáticamente a los cationes metálicos. Los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre Punta Nizuc y Veracruz ($t=7.93$, $p<0.05$). Los datos obtenidos de Punta Nizuc tienen una alta correlación ($r=0.97$, $p<0.05$) con la precipitación pluvial anual total. Y esto se debe a que el Cd es transportado a través del manto acuífero y de esta manera es posible realizar una reconstrucción cualitativa de las tendencias de la precipitación pluvial para entender el desarrollo del clima en la

región. No se encontró diferencia estadísticamente significativa ($t=-0.21$, $p<0.05$) entre los niveles de Cd antes y después de la construcción de Cancún. Por último no se puede hablar de contaminación de Cd, ya que el registro de este elemento en este estudio esta muy por debajo de los niveles obtenidos en otros trabajos. Además que faltaría hacer más estudios por ejemplo de otras especies de corales, grupos de organismos, en sedimento y en el agua circundante.

INTRODUCCIÓN

El impacto del hombre en la biosfera ha sido muy amplio y complejo, y a menudo ha llevado a cambios irreversibles. La contaminación ambiental, especialmente por sustancias químicas, es uno de los factores que han causado un mayor impacto en los ecosistemas (Mandelli, 1979). Entre los contaminantes más importantes se encuentran los hidrocarburos, plaguicidas, bifenilos policlorados (PCB's) y metales pesados, de los cuales han ocurrido cambios en su concentración natural debido a su uso extensivo por las actividades humanas (Bahena-Manjarrez *et al.*, 2002; Villanueva y Botello, 1992; Villanueva-Estrada, 2000).

En la actualidad los ambientes marinos tropicales están sufriendo un incremento en el grado de contaminación por metales pesados y otras sustancias, a partir de diversas fuentes (Howard y Brown, 1984). A pesar de esto, para el hombre ha pasado relativamente inobservada la extensa degradación sufrida por dichas comunidades. En este sentido los ambientes costeros son uno de los que mayor problema presentan, por su cercanía con el continente (Levy, 1992) en donde se asienta un gran porcentaje de la población humana y trae como consecuencia un uso irrestricto de los recursos (Salazar-Vallejo, 1991).

Los metales pesados y otras sustancias se acumulan en el tejido y en el esqueleto de los corales escleractinios (Howard y Brown, 1984, 1987; Harland y Brown, 1989).

Los corales crecen básicamente por la depositación continúa de carbonato de calcio (CaCO₃), aumentando el grosor de su esqueleto (Barnes y Chalker 1990; Barnes *et al.*, 1995; Taylor *et al.*, 1995). Así, se van formando bandas paralelas de alta y baja densidad, las cuales representan un año de crecimiento coralino (Knutson *et al.*, 1972; Moore y Krishnaswami, 1974; Dodge y Thompson, 1974; Buddemeir *et al.*, 1974; Barnes y Lough, 1989).

Las bandas coralinas registran al momento de la depositación del CaCO₃ los cambios en la química del agua, lo anterior refleja las condiciones ambientales oceanográficas, ya que la razón Metal/Ca coralinas presentan un coeficiente de distribución unitario con el agua de mar (Shen y Boyle, 1987; Shen *et al.*, 1987), mostrando así una relación directamente proporcional con respecto a los niveles presentes en el océano; esto obedece a la siguiente relación:

$$K_D = \frac{[M]/[Ca] \text{ agua de mar}}{[M]/[Ca] \text{ coral}} \approx 1$$

K_D= Coeficiente de distribución

De esta manera es posible utilizar las señales geoquímicas contenidas en el esqueleto coralino, como trazadores (proxies) de cambios ambientales, ya que los corales en ocasiones presentan una respuesta en su tasa de crecimiento hacia ciertas situaciones estresantes (variaciones climáticas y actividades humanas) (Ramírez, 1993).

Se ha demostrado la presencia de más de 40 elementos traza, los que se incorporan en tejido y esqueleto de numerosas especies de corales escleractinios (Livingston y Thompson, 1971; Howard y Brown, 1984, 1987) aunque los mecanismos por lo cuales estos elementos son incorporados en el esqueleto no son bien conocidos (Amiel *et al.*, 1973), ya que existen pocos estudios.

Howard y Brown (1984) mencionan que los metales han sido incorporados estructuralmente dentro de la matriz aragonítica, habiendo pasado primero por el tejido vivo del coral. Dentro del esqueleto los metales pesados se pueden localizar en cualquiera de las siguientes fracciones:

1.- Adsorbidos sobre la superficie cristalina aragonítica en sitios de intercambio iónico, por ejemplo Cu y Zn (Kitano *et al.*, 1976), U, Mg y Sr (Amiel *et al.*, 1973), Ba y Mg (Allison, 1996). Muchos componentes de la fórmula general ABO_3 cristaliza con ambas estructuras de calcita y aragonita. La tendencia a formar estructuras de calcita o de aragonita corresponde a la referencia del radio (Howard y Brown, 1984).

- 2.- En material particulado atrapado entre el entramado cristalino, como por ejemplo arcilla y sedimento fino, tal es el caso de Na, K, Al (Amiel *et al.*, 1973), Fe y Si (Barnard *et al.*, 1974).
- 3.- En la fracción orgánica esquelética, se encuentra U (Amiel *et al.*, 1973) y Zn (Glover y Owen, 1978).
- 4.- En recubrimientos autigénicos como son los óxidos de Al, Fe y Mn (Shen y Boyle, 1988; Brown *et al.*, 1991) y precipitados biogénicos y/o abiogénicos tales como Ba, Mg y Sr (Allison, 1996).
- 5.- Incorporados en algas endolíticas u otros organismos encostrantes e incrustantes que crecen sobre el esqueleto coralino, Ba (Shashar y Stambler, 1992; Allison, 1996).
- 6.- Sustituyendo al Ca en la molécula de carbonato como el Cd, Mn, Pb y Zn (Shen y Boyle, 1987, 1988; Shen *et al.*, 1987, 1991; Linn *et al.*, 1990) y Sr (Greggor *et al.*, 1997). De la fracción Ca-sustitutiva se han realizado algunos trabajos, uno muy importante fue el de Shen y Boyle (1988) donde proponen una nueva técnica para aislar de manera más efectiva la fracción Ca-sustitutiva y de esta manera determinar los metales traza que están contenidos en las bandas anuales de corales escleractinios. Otro trabajo fue el de Reuer y colaboradores (2003), donde obtuvieron las concentraciones de Cd y Ba en la fracción Ca-sustitutiva de *Monstaraea annularis* y *Siderastrea siderea*.

La Península de Yucatán es una región compuesta por sedimentos carbonatados que se depositaron en un ambiente marino (Ward y Wedie, 1978). En esta plataforma carbonatada se ha desarrollado un sistema cárstico complejo formando un acuífero subterráneo donde el agua fluye lentamente

hacia el océano, por lo que no existen ríos superficiales (Back y Hanshaw, 1970; Perry *et al.*, 1989). El agua de lluvia tiende a acidificar el acuífero por reacción con el CO₂ atmosférico provocando cierta disolución de la roca caliza (Back *et al.*, 1986), lo que ocasiona que otros metales puedan incorporarse a la molécula de CaCO₃. De esta manera se favorece el transporte de elementos traza disueltos, contribuyendo a aumentar posiblemente los niveles de Cd en el agua marina. Esto posiblemente ocurra en la Península de Yucatán, ya que Cancún ha sido impactado debido al rápido crecimiento humano y la gran cantidad de visitantes (2.3 millones de visitantes anualmente) (INEGI, 1997).

El núcleo urbano en crecimiento ha provocado que aumenten las fuentes de Cd en la zona como por ejemplo: el uso de baterías de Ni-Cd utilizadas por tener un largo tiempo de vida, en pigmentos para la tinción de plásticos, textiles, vidrio, caucho, esmalte, brillo para cerámica, tintas de impresión y colores artísticos. También se emplean en celdas solares para sistemas de alarma, calculadoras, luz de emergencia, marcapasos, motores, walkie talkies y aparatos portátiles. En procesos de galvanizado de algunos objetos fabricados con cobre, hierro, latón para evitar corrosión y de esta manera poder tener alta conductividad eléctrica y ductibilidad. Además, el Cd se encuentra en estabilizadores plásticos, pues se han fabricado varias aleaciones de Cd con otros metales como el bismuto, plomo y estaño, es utilizado para alarmas de detección de fuego, tapones de seguridad en cilindros de gas y moldes de plástico para fundición. También es empleado para hacer barras de reactores nucleares, pantallas de rayos "X", indicadores de bioluminiscencia, en soldadura, en joyería, etc. Y por último aproximadamente 6 millones de

toneladas de combustibles fósiles son quemados cada año y al mismo tiempo ponen en circulación Cd en la atmósfera, en cantidades cercanas a de 670 toneladas (Laws, 2000). Por otro lado, también han aumentado las descargas de aguas residuales, las cuales se ha comprobado que contienen gran cantidad de metales pesados (Velásquez *et al.*, 2002; Botello *et al.*, 1996). Es importante mencionar que el Cd no se considera un metal esencial para los humanos, plantas y animales. Se tiene conocimiento que lesiona principalmente los mecanismos de regulación de los iones más que afectar las funciones respiratorias nerviosas (Paez-Osuna, 2005), el Cd en los organismos reemplaza al Zn en algunas enzimas, lo cual altera la estructura de estas inhibiendo la actividad catalítica (Bailey *et al.*, 1978). El Cd también reacciona con grupos fosfatos de la bicapa de lípidos, además de romper el balance iónico y alterar las características de permeabilidad de las membranas celulares (Paez-Osuna, 2005).

De esta manera en el registro coralino se verá reflejada la influencia continental, ya que el coral ha sido colectado en la boca que comunica con la Laguna Nichupté, pues en otro estudio se ha demostrado que la influencia antropogénica como son las plantas desalinizadoras de agua, en lodos de perforación, la fundición de algunos metales, las descargas de aguas termales y de aguas residuales, son fuentes de gran cantidad de metales, mismos que son absorbidos por los corales de diversas maneras (Howard y Brown, 1984).

Por lo antes mencionado se construirá el marco histórico de los niveles ambientales de Cd para la zona de Cancún, utilizando el registro geoquímico de las bandas anuales de crecimiento de corales escleractinios, determinando

la concentración total de Cd en las bandas anuales de crecimiento obtenidas de núcleos completos de *Montastraea annularis* (Ellis y Solander, 1786). Así mismo, se correlacionarán los patrones de variación temporal del Cd con los datos históricos disponibles, tal como se ha realizado en otros trabajos (Shen *et al.*, 1987), donde demostraron la influencia de las surgencias debido al fenómeno del Niño, además de cómo influye el desarrollo industrial de América del Norte en los niveles de Cd en el coral *Pavona clavus* y *Diploria strigosa*.

También existen otros trabajos como el de Medina-Elizalde (2002) en donde trabajaron con la misma colonia (*Montastraea annularis*) que la del presente trabajo. De esta colonia se obtuvo el registro geoquímico del Pb, realizándose una reconstrucción ambiental en donde se demostró que el incremento de este elemento en la región se debe al uso de gasolina con Pb en la Ciudad de Cancún; asociada al crecimiento de la población y al turismo en la ciudad.

Todos estos monitoreos de los niveles de metales pesados encontrados en estas especies formadoras de arrecifes, nos pueden servir como parámetro para evaluar el impacto de las actividades humanas sobre estas comunidades a manera de un indicador cronológico de algún fenómeno que pudiera estar sucediendo en la región, sirviéndonos como un trazador directo de dicho acontecimiento.

ANTECEDENTES

En 1988 Shen T. G. y Boyle A. E. En su artículo "Determination of lead, cadmium and other trace metals in annually-banded corals" propusieron una técnica nueva para la determinación de elementos traza en corales escleractinios, ya que anteriormente para la recuperación de información histórica-química solo se estaba limitando a trabajar con isótopos. En este estudio se usaron corales que han sido sumamente utilizados en otros trabajos y que además son constructores de arrecife como son: *Montastraea annularis*, *Diploria strigosa* y *Pavona clavus*. El método muestra en primera instancia la capacidad que tienen los elementos traza para incorporarse en la matriz aragonítica, este se debe a que el Ca^{2+} puede ser sustituido fácilmente en la molécula de CaCO_3 por cualquier elemento traza. Después nos muestra que debido a la morfología y hábitat del coral, las estrategias de limpieza óptima pueden ser diferentes dependiendo de cada individuo. El método de limpieza consistió básicamente en series de oxidación y reducción para de esta manera remover toda posible contaminación provocada por colecta y manipulación. Esta técnica ha sido empleada para realizar reconstrucciones por cambios recientes en actividades antropogénicas así como también perturbaciones naturales en circulación.

Shen, T.G. *et al.*, (1987). Evaluaron la concentración de Cd en dos corales *Pavona clavus* colectada en la isla de San Cristóbal en las islas Galápagos y *Diploria strigosa* al Norte de las Bermudas llamado Roca Norte para de esta manera poder evaluar la influencia de las surgencias y los vientos en los niveles de Cd. Para *Pavona clavus* se registraron niveles considerables de Cd, los

resultados fueron comparados con la temperatura oceánica superficial (SST) y con el índice de oscilación de la región el sur (SOI), de esta manera se pudo observar que los registros de Cd concuerdan con estos registros. Estos niveles de Cd sugieren que la producción de surgencias a una profundidad de 10 metros, producto del fenómeno conocido como El Niño, incrementan considerablemente las concentraciones de Cd. En cuanto al coral *Diploria strigosa* las concentraciones de Cd van a la par con la producción de Zn de Estados Unidos, así cuando la producción primaria del Zn aumenta (1910 a 1932) los niveles de Cd también lo hacen y cuando la producción disminuye (1923 a 1932) el registro de Cd decrece. Esto demuestra que el Cd puede ser transportado por los vientos desde los Estados Unidos de Norteamérica hasta esta región. De esta manera se considera al Cd un excelente trazador histórico de fenómenos naturales y antropogénicos.

En el artículo "A mid-twentieth century reduction in tropical upwelling inferred from coralline trace element proxies" de Reuer et al. (2003) registraron las concentraciones de Cd y Ba en la fracción Ca-sustitutiva en el coral *Monastrea annularis* y *Siderastrea siderea* de un arrecife de la zona costera de Isla Tortuga en Venezuela. Observaron que los niveles de Cd/Ca y Ba/Ca, difieren debido a factores como son las surgencias, las cuales tienen un efecto significativo en las fuentes locales de cadmio, ya sea naturales o antropogénicas. Además de que también influyen factores como son la velocidad de los vientos y algunas anomalías que se registran en la temperatura oceánica superficial.

OBJETIVO GENERAL

- Describir el marco histórico de los niveles ambientales de Cadmio para la zona de Cancún, utilizando el registro geoquímica de las bandas anuales de crecimiento de corales escleractinios.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la concentración total de Cadmio en las bandas anuales de crecimiento, obtenidas de núcleos completos de *Montastraea annularis*.
- Correlacionar los patrones de variación temporal del Cadmio, con los datos históricos disponibles de diversos indicadores como el dañado, actividades de aclaración y quema de tierra, aumento de automóviles, descarga de agua domésticas y producto del incremento de la población.

ÁREA DE ESTUDIO

La colonia del coral *Montastraea annularis* fue colectada el 13 de Septiembre de 1998 en Punta Nizuc ($21^{\circ} 02'N$; $86^{\circ} 45'W$) en el arrecife frontal a 4 m de profundidad, midiendo 52 cm de altura. Cabe mencionar que este coral fue el mismo que utilizó Medina-Elizalde y colaboradores (2002) para su trabajo sobre contaminación por Pb en el Caribe Mexicano.

Para efectos de comparación se utilizaron los datos de otras 4 colonias. La primera fue colectada en Majahual el 20 de Abril de 1998 en la zona del arrecife frontal a 5m de profundidad ($18^{\circ} 42'N$; $87^{\circ} 42'W$) esta colonia media 30 cm. La tercera en Xcalak ($18^{\circ} 16'N$; $87^{\circ} 50'W$) el 21 de Abril de 1998 en la zona de cresta arrecifal a 1 m de profundidad, presentando una altura de 19 cm. La cuarta colonia en Speyside al Este de la Isla de Tobago en las Antillas Menores ($11^{\circ} 02'N$; $86^{\circ} 45'W$) a una profundidad de 2 m (Fig. 2 y 3).

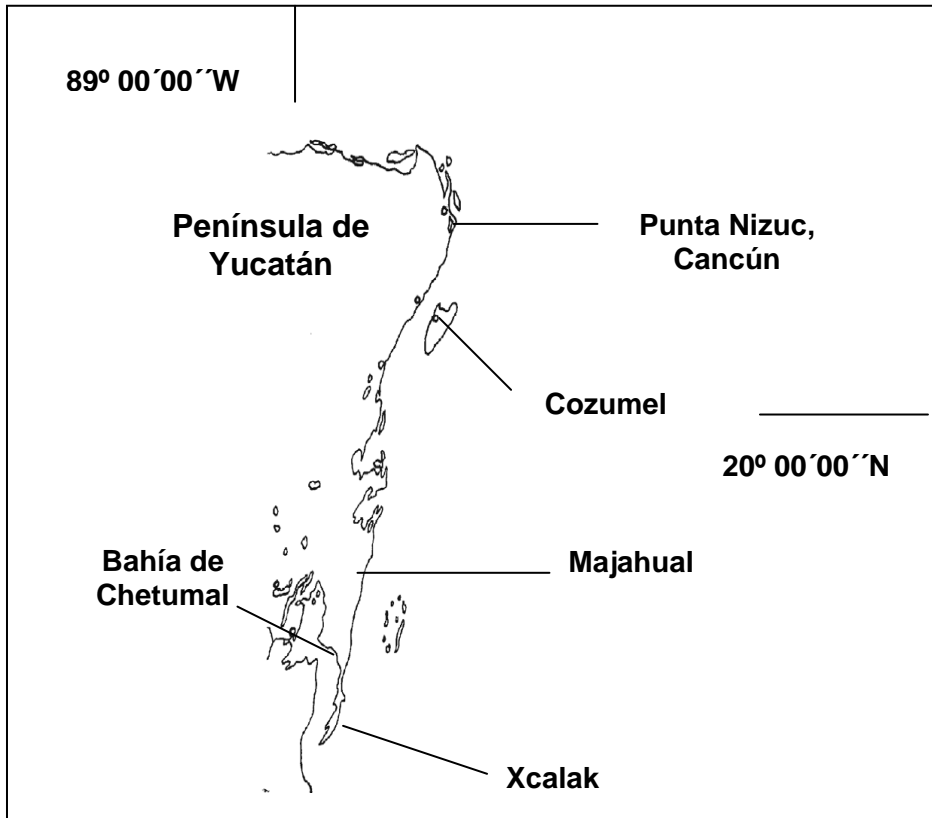


Figura 2. Mapa de localización de Majahual, Punta Nizuc y Xcalak. Tomada de Medina-Elizalde *et al.*, 2002.

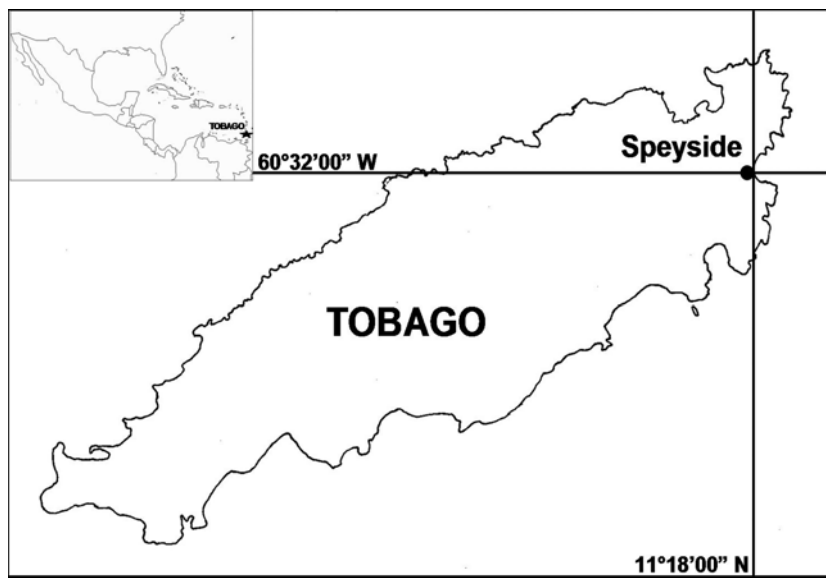


Figura 3. Mapa de localización de Speyside, Tobago.

MATERIALES Y MÉTODO

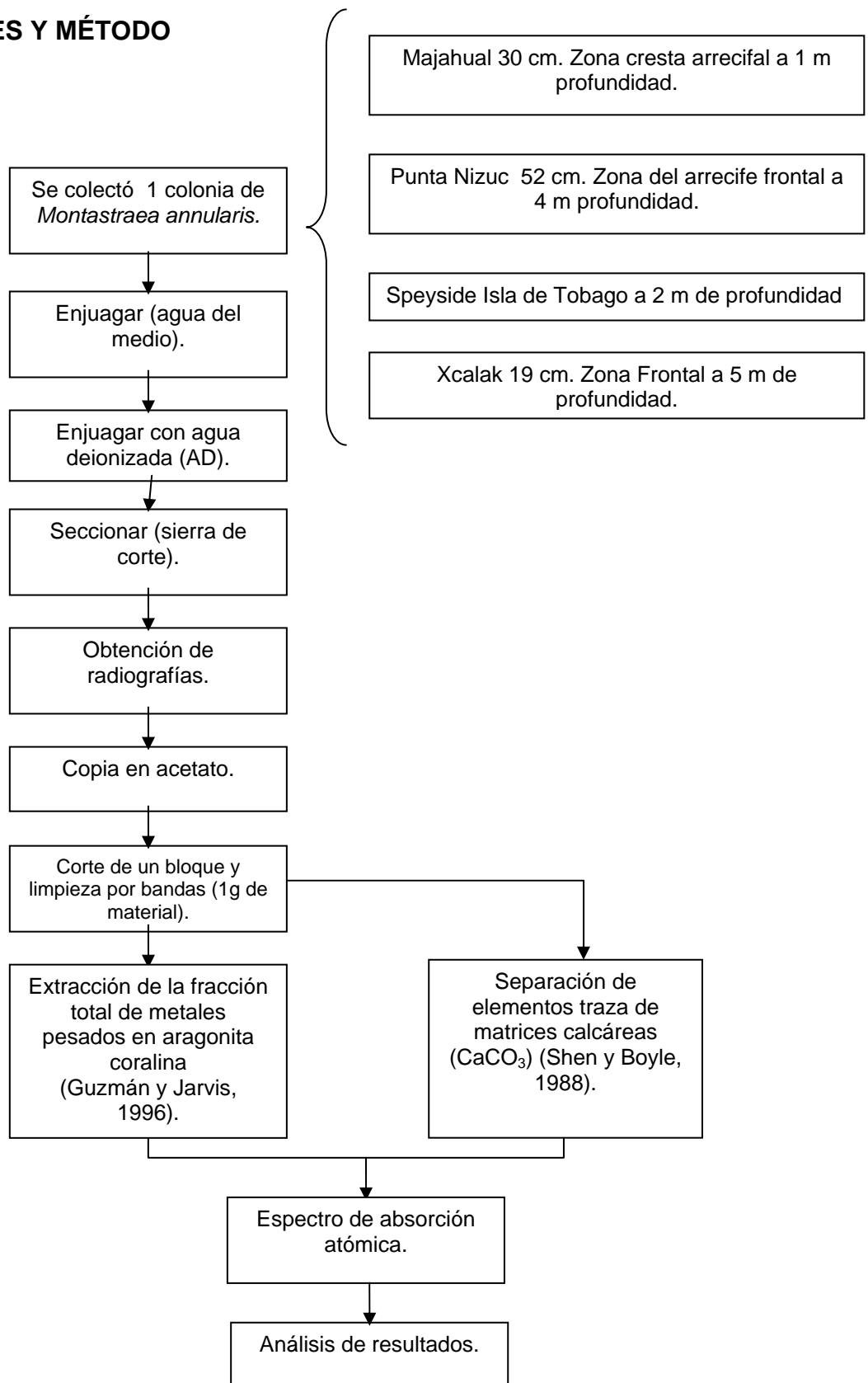


Figura 1. Diagrama metodológico.

La colonia del coral *Montastraea annularis* fue colectada el 13 de Septiembre de 1998 en Punta Nizuc ($21^{\circ} 02'N$; $86^{\circ} 45'W$) en el arrecife frontal a 4 m de profundidad, midiendo 52 cm de altura. Cabe mencionar que este coral fue el mismo que utilizó Medina-Elizalde y colaboradores (2002) para su trabajo sobre contaminación por Pb en el Caribe Mexicano.

Para efectos de comparación se utilizaron los datos de otras 4 colonias. La primera fue colectada en Majahual el 20 de Abril de 1998 en la zona del arrecife frontal a 5m de profundidad ($18^{\circ} 42'N$; $87^{\circ} 42'W$) esta colonia media 30 cm. La tercera en Xcalak ($18^{\circ} 16'N$; $87^{\circ} 50'W$) el 21 de Abril de 1998 en la zona de cresta arrecifal a 1 m de profundidad, presentando una altura de 19 cm. La cuarta colonia en Speyside al Este de la Isla de Tobago en las Antillas Menores ($11^{\circ} 02'N$; $86^{\circ} 45'W$) a una profundidad de 2 m (Fig. 2 y 3). Y la última fueron datos obtenidos del coral *Montastraea faveolata* colectado en el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) en el arrecife Anegada de Adentro.

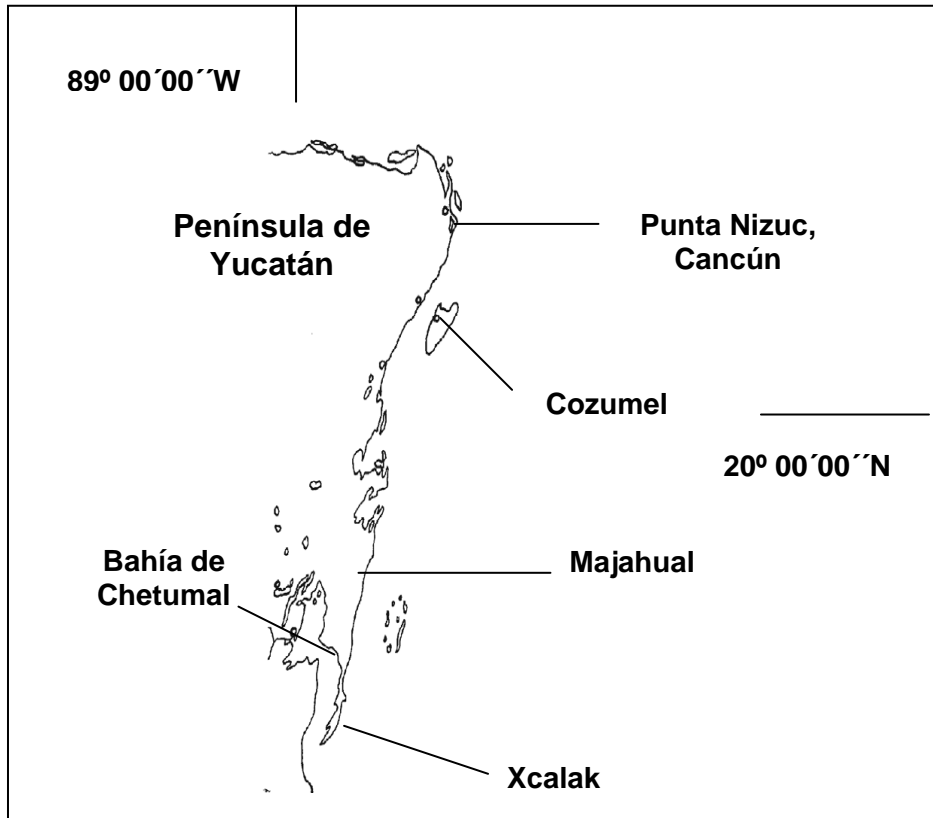


Figura 2. Mapa de localización de Majahual, Punta Nizuc y Xcalak. Tomada de Medina-Elizalde *et al.*, 2002.

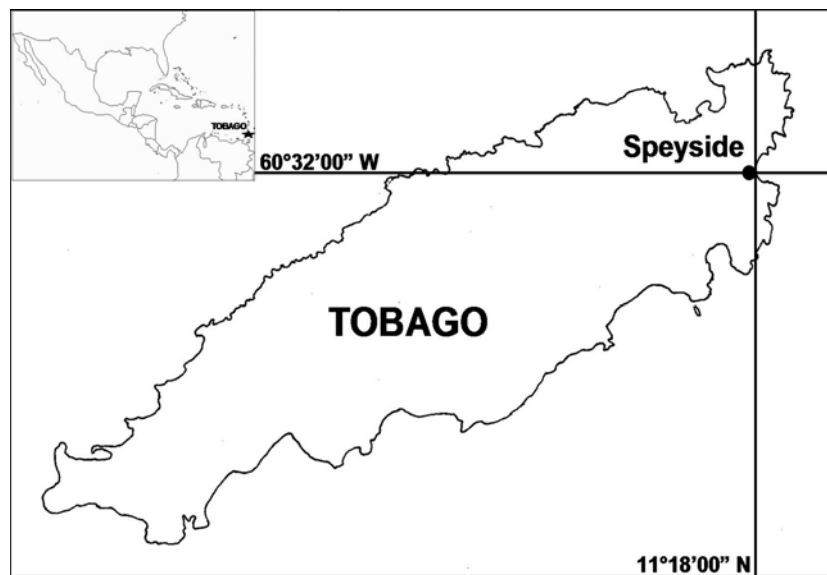


Figura 3. Mapa de localización de Speyside, Tobago.

Las cuatro colonias fueron enjuagadas con agua del medio y guardadas para ser procesadas en el laboratorio. Una vez ahí, se enjuagaron con agua destilada, se dejaron secar y se seccionaron longitudinalmente con ayuda de una sierra de corte con disco de filo diamantado, para obtener lascas de ~5-8 mm de espesor, cada laja fue lavada con AD (≥ 18.0 Megaohms) en baño ultrasónico durante 30 minutos, de esta manera se aseguró eliminar las partículas derivadas del proceso de corte procedentes del entramado esquelético (Guzmán y Jarvis, 1996).

A las lascas, se les tomó una placa radiográfica por medio de una unidad de rayos X Picker G850S utilizando 0.05 s, 200 mA y 31-34 KV, esta placa reveló la posición de las bandas de crecimiento. A cada placa radiográfica, se le elaboró una copia en acetato para así poder determinar con precisión, la posición de cada par de bandas de alta y baja densidad, las cuales representan un año de crecimiento coralino. En el cuadro 1 se muestra los años de registro coralino de las 5 localidades.

Cuadro 1. Número de años de registro coralino y periodo de tiempo que abarca cada localidad.

Localidad	No. de años	Periodo de tiempo
Majahual	31	1967-1997
Punta Nizuc	52	1946-1997
Speyside	16	1982-1997
Xcalak	19	1979-1997
Anegada de Adentro	168	1835-2002

Total: 286 muestras

Posteriormente se obtuvo de cada banda anual pequeños bloques de tamaño suficiente para poder obtener 1 g de muestra, esto se hizo con ayuda de una fresa acoplada a un taladro, realizándose perforaciones en cada una de las bandas anuales.

Cada bloque se sometió a lavados para eliminar toda posible contaminación asociada al corte. Primero fue lavada con AD en baño ultrasónico, dos lavados con ácido nítrico (HNO_3) al 0.2 M en baño ultrasónico. La muestra se dejó en una campana de flujo laminar para que se secase, después se maceró en un mortero de ágata y se tamizó con mallas de polietileno, para así poder retener la fracción con un tamaño de 280-700 μm (Guzmán y Jarvis, 1996).

Las muestras fueron sometidas a un proceso de lavado, de esta manera se obtuvo la fracción total de metales pesados.

Para la extracción de la fracción total de metales pesados en aragonita coralina (CaCO_3) se llevó a cabo una limpieza exhaustiva en medio ácido diluido, para solubilizar al máximo posible cationes metálicos adsorbidos e impurezas metálicas que durante el proceso de recolección, pretratamiento, corte y obtención de polvo coralino contaminaron la muestra (Shen y Boyle, 1988).

Todo el procedimiento se llevó a cabo en una campana de flujo laminar en el interior de un cuarto ultralimpio Clase 100 (Instituto de Investigaciones Oceanológicas IIO). Las muestras de polvo coralino fueron de ~300 mg se guardaron en viales de polietileno. Primero se realizaron 3 lavados con AD, 4 con solución ácida (1.0 ml de HNO_3).

Después se prosiguió a la separación de elementos traza de matrices calcáreas (CaCO_3) esto es debido a que en las técnicas analíticas espectroscópicas para la cuantificación de elementos traza, son muy sensibles a las interferencias por efecto de matriz. En el caso de matrices calcáreas, el exceso de Ca^{2+} en las muestras, causa problemas de efecto de memoria impidiendo la cuantificación adecuada; adicionalmente la emisión intensa por el exceso de Ca, interfiere fuertemente las líneas espectrales de cuantificación de otros elementos, además puede provocar una alta radiación de fondo. Por lo anterior resulta necesario eliminar el Ca para llevar a cabo cuantificaciones confiables.

Primero se pesaron 200 mg de aragonita coralina, se le agregó 500 μl de HNO_3 5 mM, después otros 500 μl y 1000 μl de AD para llegar a un volumen final de 2.0 ml. Se extrajo una alícuota de 10 μl de la muestra para la evaluación de Ba, Sr, Mg y Ca, quedando 1990 μl de aquí se tomaron dos alícuotas, la primera de 950 μl la cual se trabajó con pH alcalino de 10.2 a 10.6. La solución remanente de 1040 μl fue tratada con un pH ácido entre 3.3-3.7, por lo cual se le añadió 750 μl de $\text{CH}_3\text{COOHNH}_4$ (solución amortiguadora de Acetato de Amonio) al 25%. Ambas muestras fueron procesadas de la misma manera, se les agregó 125 μl de CoCl_2 (Cloruro de Cobalto 5 mM) y de APDC (Pirrolidin Ditiocarbamato de Amonio 1%), esto se añadió para separar los elementos traza a través de un agente quelante específico para cationes metálicos del grupo de elementos de transición el APDC, el cual secuestra selectivamente cationes metálicos (M^{2+}) sobre el Ca^{2+} y otros metales alcalinotérreos. La reacción requiere ser llevada a cabo con un pH >3.0 , para evitar la competencia de H^+ con los M^{2+} y así formar el quelato.

El complejo APDC-M es poco soluble en medio acuoso y permanece en suspensión como un coloide. Para favorecer la precipitación y dejar el Ca^{2+} en la solución, se añadió un catión metálico en exceso, en este caso Co^{2+} , el cual forma partículas de quelato las que precipitan por ser insolubles, coprecipitando cuantitativamente con ellas los M^{2+} presentes en la solución. El exceso de Co^{2+} se obtiene agregando un compuesto fácilmente ionizable como es el CoCl_2 . Estas soluciones se sifonearon y se agregó 750 μl de AD y 50 μl de HNO_3 al 16 M. Por último se agregó 450 μl de AD y la muestra está lista para analizarse (Shen y Boyle, 1988 modificada por Linn *et al.*, 1990).

Una vez procesadas las 118 muestras se cuantificó instrumentalmente la concentración de Cd. Esto se llevó a cabo utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Varian SpectraAA-800) acoplado a un atomizador electrotérmico (GTA 100) (GFAAS). El método analítico se tuvo que optimizar para de esta manera definir los valores y tiempos para el secado, atomizado y calcinado, todo esto varía para cada elemento. En el siguiente cuadro se muestran los valores que se eligieron para el Cd.

Cuadro 2. Tiempo y modo de secado, calcinado y atomizado para la cuantificación analítica de Cd. L=lectura de la muestra, (-) ausencia.

Paso	Temperatura (°C)	Tiempo (s)	Flujo de gas acarreador L/min	Tipo de gas	Lectura
1	85	5,0	1,5	Argón	-
2	90	65,0	1,5	Argón	-
3	105	20,0	1,5	Argón	-
4	550	2,0	1,5	Argón	-
5	550	25,0	1,5	Argón	-
6	550	2,0	0	-	-
7	1800	1,6	0	-	L
8	1800	2,0	0	-	L
9	2700	2,0	0	Argón	-

El método se compone de nueve pasos los cuales se dividen en tres fases: secado, calcinado y atomizado. En la primera fase se debe eliminar toda el agua que la muestra contenga. Después se quita todos los restos de ácido nítrico. En el proceso de calcinado se elimina toda la materia orgánica presente, por último en el atomizado se cuantifica la cantidad de Cd.

Es importante resaltar que del paso número 1 al 5 se deja que corra el argón, ya que así garantizamos que todo lo que se está evaporando en el tubo se elimine y no haga interferencia en la medición.

Para realizar las mediciones se prepararon 3 muestras patrón a partir de una solución inicial de Cd (No. de catálogo 20,701-2) de 0.1 ppb, 1 ppb y 2 ppb. La figura 4 nos muestra la gráfica de calibración usada para la cuantificación de Cd.

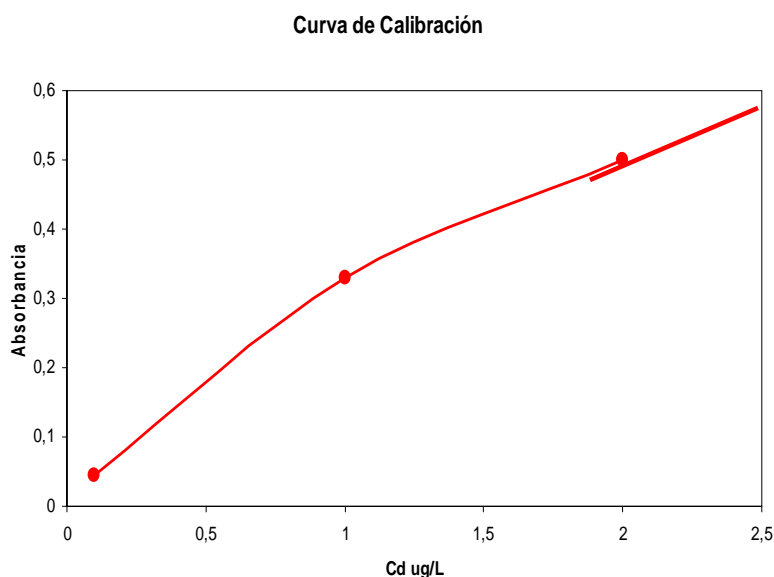


Figura 4. Curva de Calibración utilizada para la cuantificación de Cd.

Es importante mencionar que todos los materiales de laboratorio que se utilizaron para realizar los análisis llevaron una exhaustiva limpieza, de esta manera garantizamos que el material quede absolutamente limpio y listo para realizar las mediciones. El área de trabajo de igual manera debe de quedar completamente limpia. Al espectrofotómetro de absorción atómica se le construyó una estructura de policloruro de vinilo (PVC) forrada de plástico para de esta manera aislar todo el polvo posible que pudiera contaminar las muestras.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La colonia de *Montastraea annularis* que se colectó en Punta Nizuc, Cancún, presentó un registro de 52 años, que abarco del periodo de 1946 a 1997. En la figura 5 podemos observar las bandas anuales coralininas.

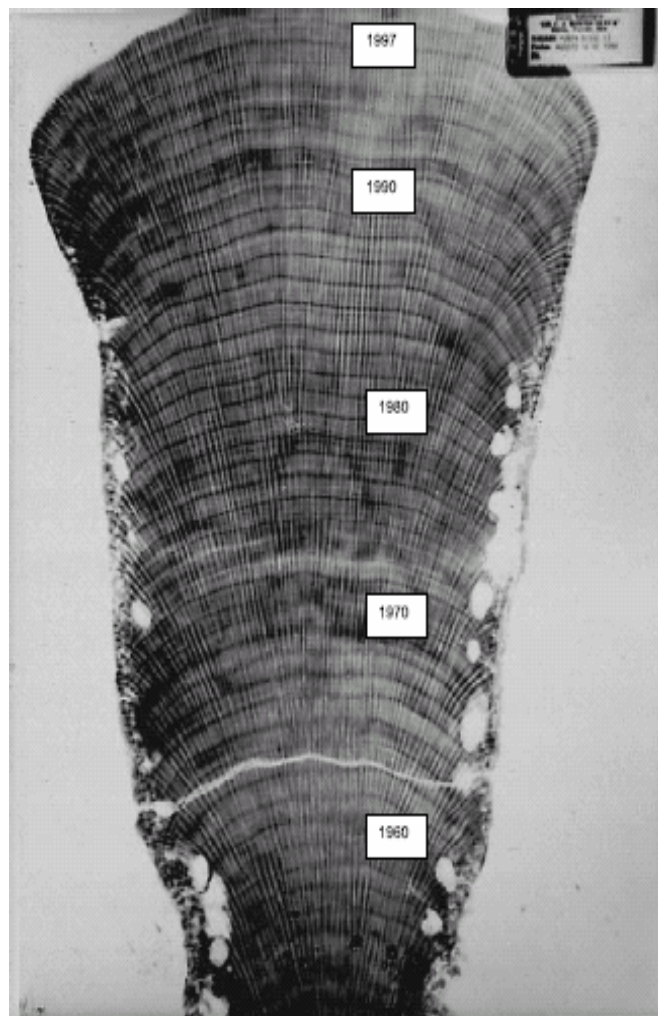


Figura 5. Positivo de rayos X del coral *Montastraea annularis* colectado en Cancún, Quintana Roo. Cada banda anual de crecimiento consiste en una banda adyacente negra y blanca. Tomada de Medina-Elizalde *et al.*, 2002.

Cuadro 3. Concentración de Cd en ng/g obtenidos del coral *Montastraea annularis* colectado en Punta Nizuc, Cancún. Periodo de 1946 a 1997. Las cantidades marcadas con (*) son elevadas y posiblemente contaminadas y ND= niveles no detectables.

AÑO	CONCENTRACIÓN (ng/g)	AÑO	CONCENTRACIÓN DE Cd (ng/g)
1946	ND	1972	0.98
1947	2.10	1973	1.47
1948	0.66	1974	1.04
1949	0.78	1975	1.67
1950	6.3*	1976	2.99
1951	0.76	1977	1.91
1952	1.31	1978	1.53
1953	1.00	1979	2.24
1954	2.73	1980	1.54
1955	0.83	1981	1.40
1956	0.81	1982	1.03
1957	1.04	1983	0.61
1958	0.26	1984	0.66
1959	0.71	1985	1.61
1960	0.68	1986	1.14
1961	4.8*	1987	1.31
1962	0.10	1988	2.86
1963	1.06	1989	1.65
1964	1.96	1990	2.58
1965	1.12	1991	0.72
1966	2.03	1992	0.00
1967	1.85	1993	0.65
1968	2.12	1994	0.70
1969	1.12	1995	1.05
1970	1.71	1996	0.74
1971	2.02	1997	4.0*

Los datos de la concentración de Cd obtenidos del coral *Montastraea annularis*, se muestran en el cuadro 3. En el gráfico 6 se puede observar que no existe una tendencia; sino mucha variación. El promedio de los datos es de 1.33 ± 0.68 ng/g de Cd. Cabe mencionar que algunos resultados fueron omitidos en la gráfica debido a que las concentraciones fueron muy elevadas, esto pudo deberse a posibles agentes contaminantes durante su manipulación (polvo, mal lavado de los materiales de laboratorio, etc).

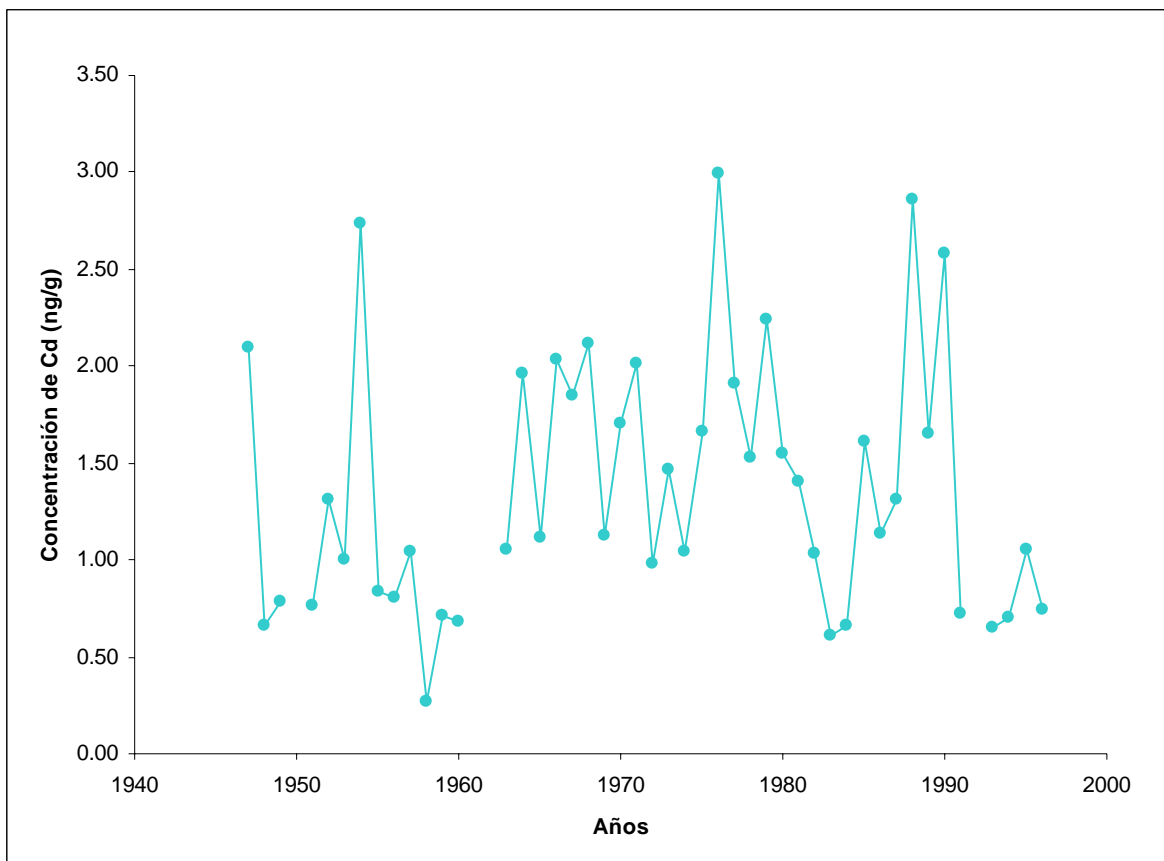


Figura 6. Concentración de Cd (ng/g) obtenida del coral *Montastraea annularis* colectado en Punta Nizuc, Cancún. Periodo de 1946 a 1997.

Para eliminar la variabilidad de los datos se prosiguió a realizar un filtrado de datos con una media móvil de 5 años. El análisis de media móvil nos sirve para eliminar la variabilidad de alta frecuencia, ayudando a tener una tendencia más clara de nuestros datos.

En la figura 7 se muestran los datos filtrados del contenido de Cd, como se puede observar que no existe una tendencia.

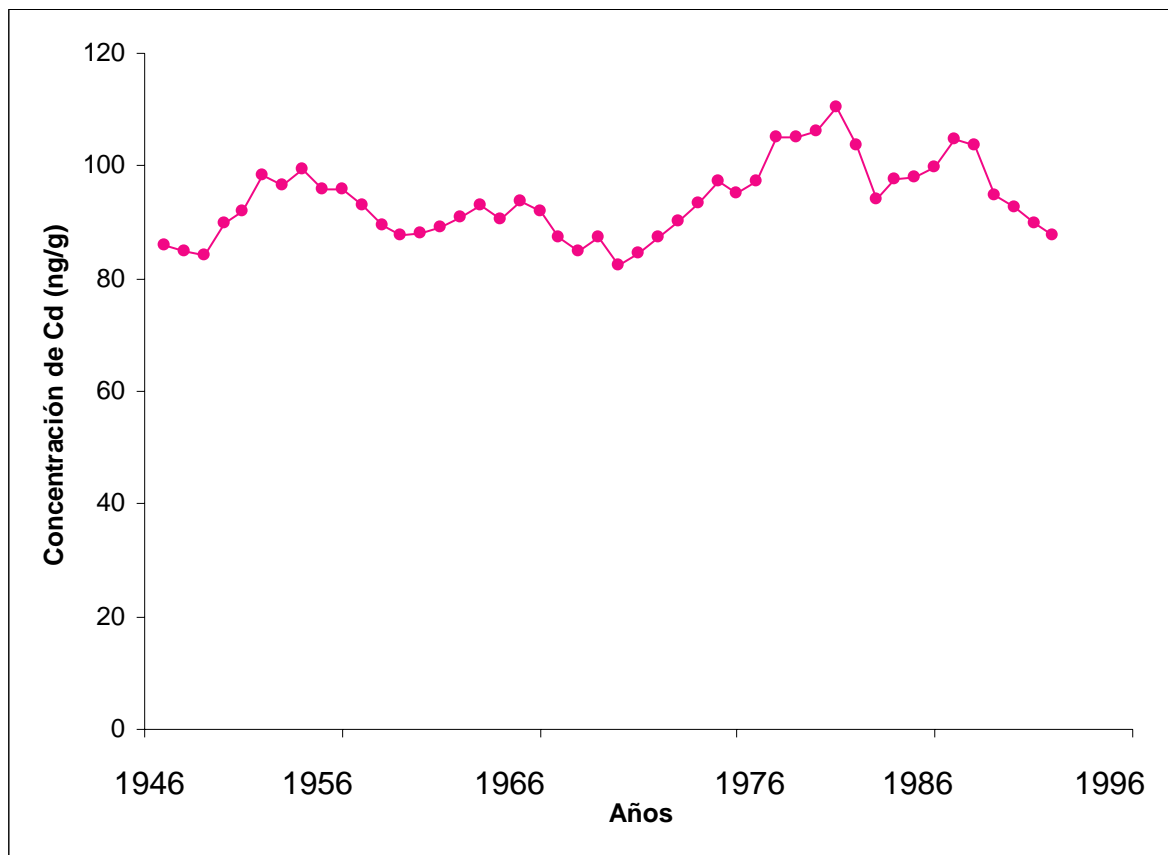


Figura 7. Concentración de Cd (ng/g) obtenida del coral *Montastraea annularis* colectada en Punta Nizuc, Cancún. Periodo de 1946-1996. Datos filtrados utilizando una media móvil con ventana de 5 años

Los niveles de Cd encontrados en Punta Nizuc, Cancún en comparación con los del SAV pueden deberse en primera instancia, a que algunas veces la precipitación de los metales requiere que las concentraciones disueltas excedan el nivel dictado por la solubilidad del producto de algunos minerales. Pero gran parte de estos metales están presentes en concentraciones muy pequeñas de las que podrían existir si el equilibrio del mineral es constante. Así el equilibrio podría ser relativamente un control insignificante en las concentraciones de elementos traza.

En su lugar las concentraciones de metales disueltos parecen ser determinadas por su índice de traslado al agua de mar. Este traslado ocurre vía adsorción o precipitación por el hundimiento de partículas o la incorporación dentro de materiales biogénicos y de aquí este fenómeno ha sido llamado “La Gran Conspiración de la Partícula” (The Great Particle Conspiracy). Gran parte de la materia particulada en el océano como las arcillas minerales, oxihidróxidos metálicos y materia orgánica particulada (POM), poseen una pequeña carga negativa al pH del agua de mar. De aquí los cationes metálicos son electrostáticamente atraídos a sus superficies. Algunas de estas partículas enriquecidas con metal eventualmente se hunden al piso del océano, de esta manera remueven metales del océano. Este proceso es llamado “scavening”.

La proporción y el grado en el cual el metal disuelto sufre el proceso de scavening del océano depende de: 1) la naturaleza del elemento, 2) la

abundancia de materia particulada, 3) las concentraciones de otros solutos, y 4) la profundidad del agua (Libes, 1992).

El fenómeno de scavenging probablemente no ocurra en la región de Punta Nizuc, Cancún, pues al compararse con otros datos obtenidos en el laboratorio de la zona de Veracruz, la concentración de Cd fue de 0.65 ± 0.44 ng/g y al realizarse el análisis estadístico, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las 2 zonas con una $t = 7.93$ $p < 0.05$. Esto puede deberse a que en Punta Nizuc, Cancún no existe ningún sistema fluvial y por tanto no hay gran cantidad de POM que pudiera secuestrar a los cationes metálicos; por tal motivo las concentraciones de Cd disponible que se registran para esta zona (Fig. 6) son más elevadas en comparación con las obtenidas para el SAV (Fig. 8).

El coral de Veracruz, *Montastraea faveolata*, fue colectado en el arrecife de Anegada de Adentro, en esta zona a diferencia de la de Cancún, si existe gran cantidad de sedimentos los cuales son acarreados debido a la gran afluencia de varios ríos como es el caso del Río Jamapa, Río Actopan, Río Blanco y Río Papaloapan (Fig. 9), estos ríos van transportando en su paso por varios lugares, gran cantidad de POM, la cual adsorbe a los cationes metálicos y de esta manera las concentraciones registradas por el coral de Veracruz son más bajas. Esto nos indica que las regiones con alto contenido de materia particulada y/o disuelta, se puede esperar que presenten altos índices de scavenging.

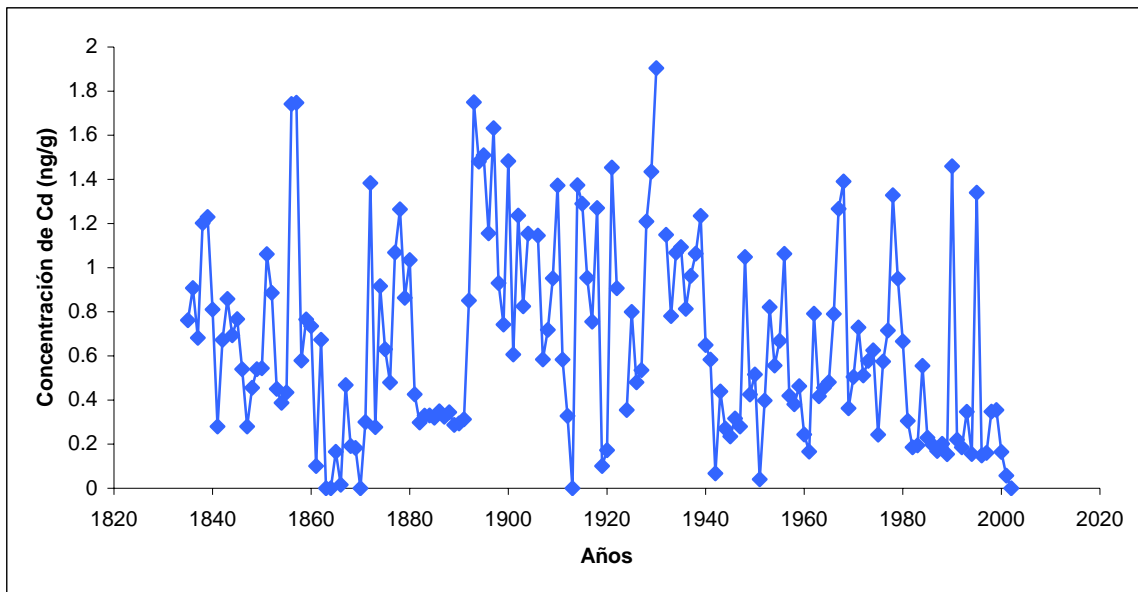


Figura 8. Concentración de Cd (ng/g) obtenida del coral *Montastraea faveolata* colectado en la Anegada de Adentro, Veracruz. Periodo de 1835 al 2002.

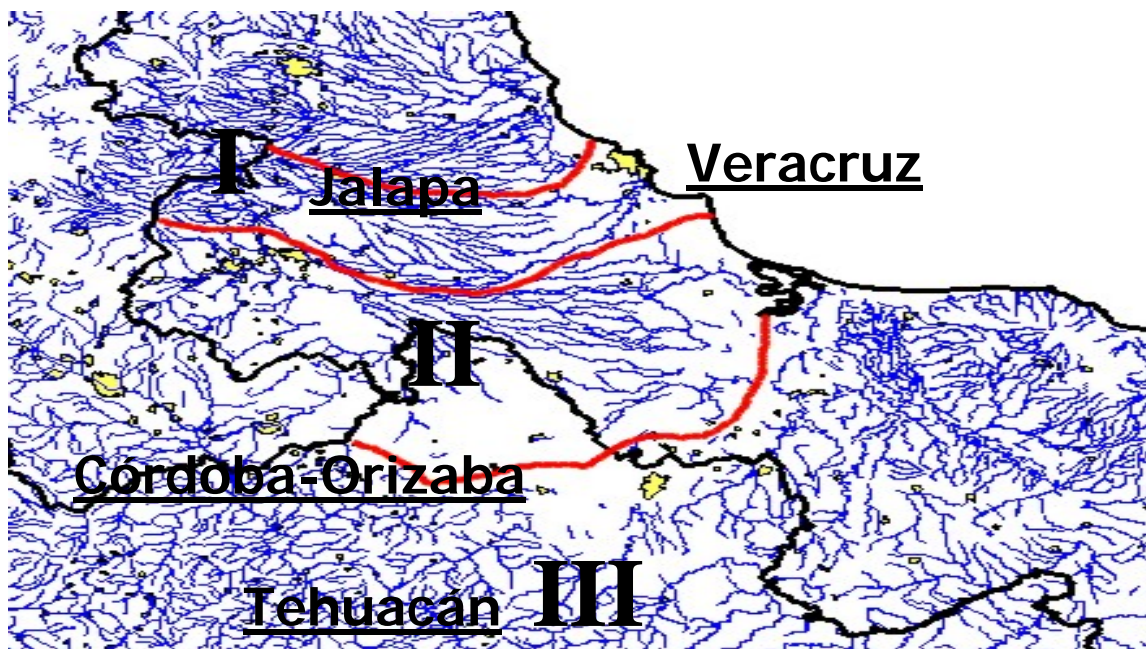


Figura 9. Sistemas fluviales que desembocan en la proximidad del SAV. I Río Actopan (La Antigua); II Río Jamapa; III Río Blanco; IV Río Papaloapan (Fuente: IRIS, INEGI).

Por otro lado se consiguieron datos de la precipitación pluvial total anual de Punta Nizuc del periodo de 1946-1992 que se obtuvieron de la base de datos de la UEA-CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia) para un cuadrante de 2.5° lat x 3.75° long, centrado a los 20°N, 90°O. Estos datos se compararon con la concentración de Cd y se realizó un análisis de correlación simple entre los datos filtrados de la concentración de Cd (Fig. 7) y el filtrado de la precipitación pluvial anual. El análisis estadístico nos indica que la correlación es significativa ($r=0.97$, $p<0.05$), como se puede observar en la figura 10. De esta manera cuando aumenta la precipitación pluvial las concentraciones de Cd también incrementan. Es de suma importancia resaltar esta correlación, ya que la cantidad de Cd varía en razón de la precipitación pluvial anual, aunque al parecer por la geoquímica coralina los datos aparecen con 1 o 2 años de retraso, lo cual se debe al tiempo que transcurre desde que cae el agua de lluvia en el continente, se percola hacia el subsuelo, se desplaza por el manto acuífero, para finalmente aflorar en la plataforma continental, ya que como se mencionó en Cancún no existen ríos superficiales; sino afluentes subterráneos.

Gracias a la correlación tan fuerte que existe entre los datos, es posible utilizarla para realizar una reconstrucción cualitativa de las tendencias de la precipitación pluvial, todo esto será de gran ayuda para entender el desarrollo histórico del clima en la región, pues nos servirá como un trazador directo de la precipitación pluvial. Este tipo de relaciones se ha realizado en otros trabajos para explicar otros fenómenos, como en el de Shen *et al.* (1987) donde en *Pavona clavus* de

las Galápagos y *Diploria strigosa* de Bermuda cuantificaron las variaciones de Cd como respuesta probable a surgencias debidas el fenómeno del niño en las Galápagos y también debidas al desarrollo de la industria en América del Norte.

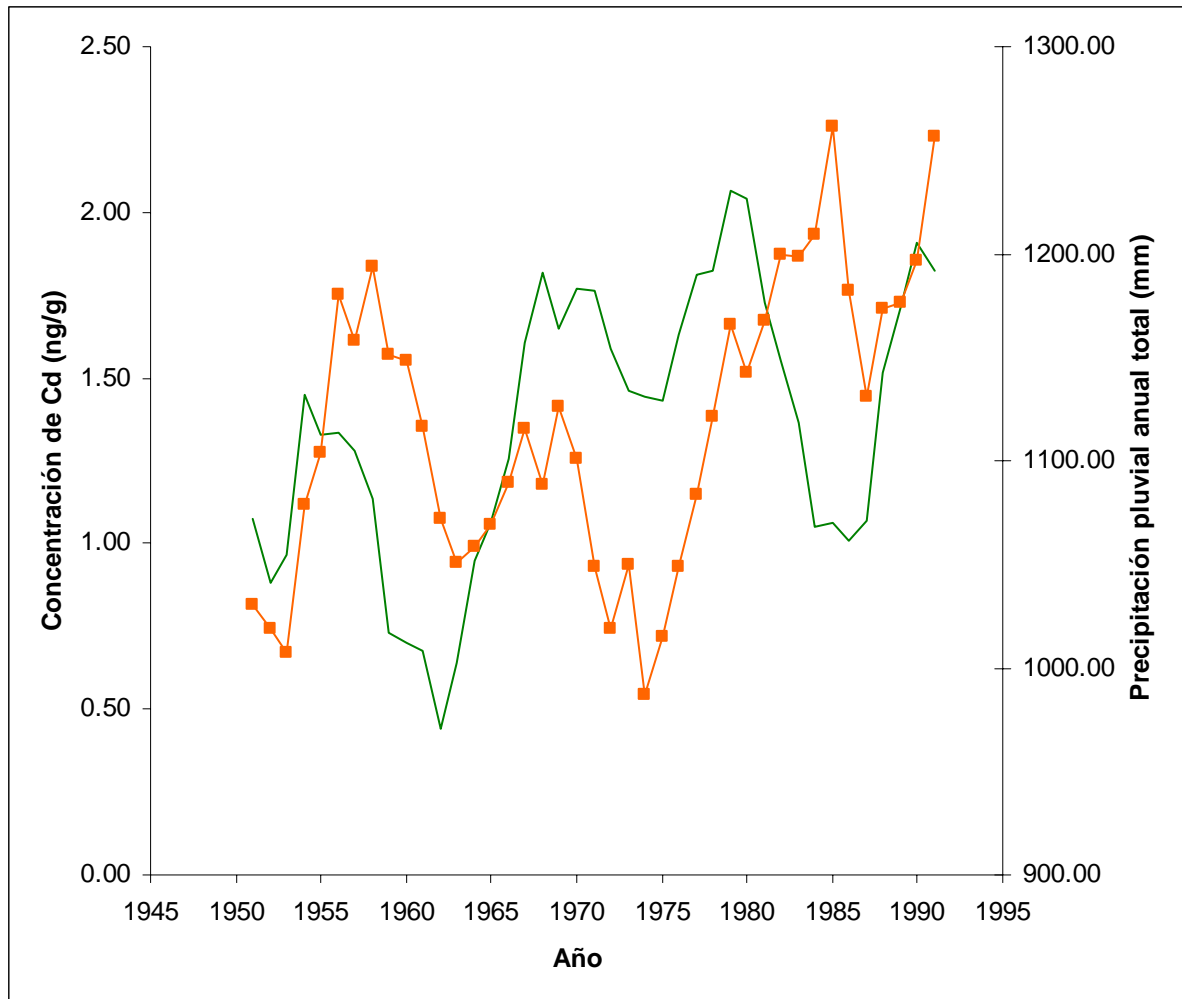


Figura 10. Precipitación pluvial anual total y concentración de Cd de la región de Punta Nizuc contra periodo de tiempo (1950-1985). Datos filtrados utilizando una media móvil con ventana de 5 años.

Las regiones de Xcalak, Majahual, Speyside registraron valores no detectables, lo que quiere decir que los niveles de Cd son más bajos que en Punta Nizuc. Esto probablemente se deba a que el coral de Punta Nizuc fue colectado frente al canal que comunica a la Laguna de Nichupté con mar abierto, por lo que es posible que exista cierto aporte de material (particulado y/o disuelto), que provenga directamente de la laguna y que contribuya a aumentar la concentración de Cd en el esqueleto coralino en esta zona.

Los niveles de Cd en la zona de Canún no pueden relacionarse directamente con actividades antropogénicas, ya que los niveles de Cd antes y después de la fundación de Cancún (1976) no presentan diferencias estadísticamente significativa ($t=-0.21$, $p \geq 0.05$) por lo tanto se puede decir que la construcción de la Ciudad de Cancún, así como el incremento en la población no tuvieron efecto significativo en los niveles de Cd. De la misma manera tampoco se puede hablar de contaminación por Cd, ya que el valor registrado para Punta Nizuc (1.33 ± 0.68 ng/g) es mucho menor que el registrado para otros lugares.

Cuadro 4. Estudios realizados en diversas partes del mundo donde se han obtenido niveles de Cd en varias especies de corales (Valores dados en µg/g de peso seco).

AUTOR/AÑO	LOCALIDAD	ESPECIE	CONCENTRACIÓN DE Cd.
	Arrecife de la Gran Barrera (AGB)		
Denton y Burdon-Jones 1986.	• Lizard Island (Norte AGB)	<i>Acropora formosa</i>	0.14
	• Orpheus Island (Centro AGB)		0.08
	• Heron Island (Sur AGB)	<i>Fungia concinna</i>	0.14
	• Lizard Island		0.03
	• Orpheus Island	<i>Fungia fungites</i>	0.02
	• Heron Island		0.09
Glynn <i>et al.</i> 1989.		<i>Colpophyllia natans</i>	<0.3
	• Florida Reef Tract, E.U. Bache Shoal Reef	<i>Diploria clivosa</i>	<0.3
		<i>Montastraea annularis</i>	<0.3
		<i>Porites astreoides</i>	<0.3
		<i>Siderastrea radians</i>	<0.3
Glynn <i>et al.</i> 1989.	• Alina's Reef	<i>Colpophyllia natans</i>	<0.19
		<i>Diploria clivosa</i>	<0.23
		<i>Diploria strigosa</i>	<0.26
		<i>Montastraea annularis</i>	<0.3
		<i>Porites astreoides</i>	<0.26
		<i>Siderastrea radians</i>	<0.22
Guzmán y Jiménez 1992.	Centroamérica		
	• Costa Rica		7.5
	• Panamá	<i>Siderastrea siderea</i>	7.6
	• Centroamérica (total)		7.6
Horta-Puga 1991.	Arrecife El Verde, Ver.	<i>Diploria clivosa</i>	2.99
		<i>Diploria strigosa</i>	3.49
		<i>Montastraea annularis</i>	4.43
		<i>Siderastrea radians</i>	4.65
Horta-Puga 1993.	Veracruz, México	<i>Montastraea annularis</i>	4.79
Sánchez-Pérez 1994.	Arrecife El Verde, Ver.	<i>Madracis decactis</i>	8.66
	En este estudio	<i>Montastraea annularis</i>	1.33×10^{-3}

En el cuadro 4 se muestran concentraciones del registró de Cd en corales de otras localidades. Como podemos observar el valor obtenido en el presente estudio es mucho menor.

En otras regiones del mundo se han registrado también valores muy bajos de Cd; Denton y Burdon-Jones (1986) en corales de la Gran Barrera, registraron en *Acopora formosa* su nivel más alto con 0.14 µg/g; Glynn *et al.* (1989) en Florida, también obtuvieron valores menores a 1, siendo 0.3 µg/g el más alto en corales como *Montastraea annularis*, *Porites asteroides*, *Siderastrea radians*, entre otros. Guzmán y Jiménez (1992) registraron un promedio de concentración total de 7.6 µg/g en *Siderastrea siderea* en Centroamérica, y para la misma región del SAV, inclusive el arrecife El Verde, Horta-Puga (1991, 1993) registró un promedio máximo de 4.79 µg/g en *Montastraea annularis*; mientras que en *Diploria clivosa* fue de 2.99 µg/g. Y por último Sánchez-Pérez (1994) trabajó en el arrecife El Verde en el SAV, registrando en *Madracis decactis* el valor más alto de Cd reportado (8.66 µg/g); sin embargo a pesar de los datos que obtuvo tampoco puede hablar de indicios de contaminación por Cd, ya que para esto es necesario realizar otra serie de estudios en otras especies de corales, en otros grupos de organismos, en sedimento y en el agua circundante.

CONCLUSIONES

La colonia *Montastraea annularis* presentó un registro de 52 años (1946-1997).

El promedio del contenido de Cd para la región de Punta Nizuc, Cancún es de 1.33 ± 0.68 ng/g.

El fenómeno de “scavenging” aparentemente no ocurre en la región de Punta Nizuc, Cancún. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre Punta Nizuc y Veracruz con una $t=7.93$, $p<0.05$.

La concentración de Cd en el coral *Montastraea annularis* presentó un correlación significativa ($r=0.97$, $p<0.05$) con la precipitación pluvial anual total. Esto probablemente puede ayudar a entender el desarrollo histórico del clima en la región ya que estos datos pueden servir como un trazador directo de la precipitación pluvial.

Las regiones de Xcalak, Majahual y Speyside al este de la isla de Tobago mostraron valores no detectables, esto quiere decir que están muy por debajo del nivel registrado para Punta Nizuc, Cancún.

No se encontró diferencia estadísticamente significativa ($t=-0.21$, $p<0.05$) entre los niveles de Cd antes y después de la construcción de la Ciudad de Cancún.

No es posible hablar de contaminación por Cd en la región de Punta Nizuc, Cancún pues los niveles registrados para esta zona son muy bajos en

comparación con otros trabajos, además de que habría que realizar más estudios en otras especies de corales, en otros grupos de organismos, en sedimento y en el agua circundante.

BIBLIOGRAFÍA

Amiel, A. G., G. M. Friedman y D.S. Miller. 1973. Distribution and nature of incorporation of trace elements in modern aragonit corals. *Sed.* 20:47-64.

Allison, N. 1996. Geochemical anomalies in coral skeletons and their possible implications for palaeoenvironmental analyses. *Mar. Chem.* 55:367-379.

Back, W., B. B. Hanshaw, J. S. Herman y J. N. van Driel. 1986. Differential dissolution of a Pleistocene reef in the ground-water mixing zone of coastal Yucatan, Mexico. *Geol.* 14:137-140.

Back, W. y W. Hanshaw. 1970. Comparison of chemical hydrogeology of the carbonate peninsulas of Florida and Yucatan. *J. Hydro.* 10: 330-368.

Bahena-Manjarrez, J. L., Rosales-Hoz, L. y Carranza-Edwards, A. 2002. Spatial and temporal variation of heavy metals in a tropical estuary. *Environmental Geol.* 42:575-582. En: Caso, M., I. Pisanty y E. Ecurra. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Humanos. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C. Talleres gráficos de la empresa S y G. pp. 635-710.

Bailey, R. A., H. M. Clark, J. P. Ferris, S. Krause y R. L. Strong. 1978. *Chemistry of the environment.* Academic Press Inc. U.S.A. 245p.

Barnard, L. A., I. G. MacIntyre y J. W. Pierce. 1974. Possible environmental index in tropical reef corals. *Nat.* 252:219-220.

Barnes, D. J. y J. M. Lough. 1989. The nature of skeletal density banding in scleractinian corals: fine banding and seasonal patterns. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 126:119-134.

Barnes, D. J. y B. E. Chalker. 1990. Calcification and photosynthesis in reef-building corals and alga. pp. 109-131. En: Z. Dubinzyk. *Coral Reefs. Ecosystems of the world* 25. Elsevier, Amsterdam. 550p.

Barnes, D. J., R. B. Taylor y J. M. Lough. 1995. On the inclusion of trace materials into massive coral skeletons. Part II: distortions in skeletal records of annual climate cycles due to growth processes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 194: 251-275.

Botello, A., G. Ponce, A. Toledo, G. Díaz González y S. Villanueva 1996. *Ecología, recursos costeros y contaminación en el Golfo de México.* p. 25-44. En: A. Botello, J. L. Rojas-Galaviz, J. A. Benitez, D. Zárate-Lomelí (eds.). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias.* Universidad Autónoma de Campeche. EPOMEX, Serie Científica, México. En: Caso, M., I. Pisanty y E. Ecurra. 2004. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México.* Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Humanos. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C. Talleres gráficos de la empresa S y G. pp. 635-710.

Brown, B. E., A. W. Tudhope, M. D. A. Le Tessier y T. P. Scoffin. 1991. A novel mechanism for iron incorporation into coral skeletons. *Coral Reefs.* 10:211-215.

Buddemeir, R. W., J. E. Maragons y D. W. Knutson. 1974. Radiographic studies of reef coral skeletons: rates and patterns of coral growth. *J. Exp. Biol. Ecol.* 14: 179-200.

Denton, G. R. W. y C. Burdon-Jones. 1986. Trace metals in corals from the Great Barrier Reef. *Mar. Poll. Bull.* 17(5): 209-213.

Dodge, R. E. y J. Thompson. 1974. The nature radiochemical and growth in contemporary hermatypic corals from the Atlantic and Caribbean. *Earth Planet. Sci. Lett.* 23:313-322.

Ellis, J. y D. Solander. 1786. *The natural history of many curios and uncommon zoophytes.* Benjamin White and Son. London. 208pp.

Glover, R. M. y R. M. Owen. 1978. An evaluation of methods used to determine trace element partitioning in coral. *Ca. J. Spec.* 23(2):27-30.

Glynn, P. W., A. M. Szamant, E. F. Corcoran y S. V. Cofere-Shabica. 1989. Condition of coral reef cnidarians from the Northern Florida Reef tract: Pesticides, heavy metals and histopathological examination (Gordon, R) 2nd edition. Oxford University Press. U.S.A.

Gregor, R. B., N. E. Pingitore Jr, y F. W. Lytle. 1997. Strontianite in coral skeletal aragonite. *Sci.* 275: 1452-1454.

Guzmán, H. M. y 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.* 20(7): 554-561.

Guzmán, H. M. y K. E. Jarvis. 1996. Vanadium century record from Caribbean reef corals: a tracer of oil pollution in Panama. *Ambio* 25(8):523-526.

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

Horta-Puga, G. J. 1991. Concentración de diversos metales pesados en corales escleractinios 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 *Montastraea annularis* (Cnidaria: Scleractinia) del Sistema Arrecifal Veracruzano: Un análisis retrospectivo. Resúmenes V Cong. Lat. Cienc. Mar, La Paz, B. C. S., México. 176.

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

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

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1997.
<http://www.inegi.com.mx>.

Kitano, Y., N. Kanamori y S. Yoshioka. 1976. Adsorption of zinc and copper ions on calcite and aragonite, and its influence on the transformation of aragonite to calcite. *Geochem. J.* 10:175-179.

Knutson, R. A, R. W. Buddemeier y S. V. Smith. 1972. Coral chronologies: seasonal growth bands in reef corals. *Sci.* 177: 270-272.

Laws, A. E. 2000. *Aquatic Pollution*. 3ra. Edición. John Wiley y Sons. Inc. U.S.A

Levy, E. M. 1992. Persistent marine debris: petroleum residues and plastics in the world's oceans. En: *The science of global change. The impact of human activities on the environment*. Ed. por Dunnette, D. A. y R. J. O'Brien. Portland State University. ACS Series symposium 483. Amer. Chem. Soc. Washington, DC. 11: 223-239.

Libes, M. S. 1992. *An Introduction to marine biogeochemistry*. John Wiley and Sons, Inc. United States of America. p. 168-188.

Linn, L. J., M. L. Delaney y R.M. Druffel. 1990. Trace metals in contemporary and seventeenth-century Galapagos coral: records of seasonal and annual variations. *Geochimic. Cosmochim. Acta.* 54:387-394.

Livingston, H. D. y G. Thompson. 1971. Trace element concentrations in some modern corals. *Limnol. and Ocean.* 16:786-796.

Mandelli, E. F. 1979. Contaminación por metales pesados. *Rev. Com. Perm. Pacífico Sur.* 10:209-228.

Medina-Elizalde, M., G. Gold-Bouchot y V. Ceja-Moreno. 2002. Lead contamination in the Mexican Caribbean recorded by the coral *Montastrea annularis* (Ellis and Solander). *Mar. Poll. Bull.* 44:421-423.

Moore, W. S. y Krishnaswami. 1974. Correlation of X-radiography revealed banding corals with radiometric growth rates. Proc 2nd Int. Coral Reef Symp. Brisbane, Australia. 2:269-276.

Paez-Osuna, F. 2005. Efecto de los metales. p. 343-360. En: Botello, J. Rendón-von, G. Goul-Bouchot y C. Agraz-Hernández. Golfo de México contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. 2da. Edición. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología. 696p.

Perry, E. C., J. Swift, J. Gamboa, A. Reeve, R. Sanborn, L.E. Marin y M. Villasuso. 1989. Geologic and environmental aspects of surface cementation, north coast, Yucatan, Mexico. Geol. 17:818-821.

Ramírez-Palacios, R. A. 1993. Determinación de los niveles de plomo en *Montastraea annularis*. Un análisis retrospectivo. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México.

Reuer, K. M., A. E. Boyle y E. J. Cole. 2003. A mid-twentieth century reduction in tropical upwelling inferred from coralline trace metals element proxies. Earth and Planetary Sci. Lett. 210: 437-452.

Salazar-Valejo, S. 1991. Contaminación marina. CIQRO. Gobierno del estado de Quintana Roo, México. 193p.

Sánchez-Pérez, L. 1994. Determinación de metales pesados en el coral pétreo *Madracis decactis* (Cnidaria: Scleractinia) en el arrecife El Verde, Veracruz. Tesis de licenciatura. México.

Shashar, N. y N. Stambler. 1992. Endolithic algae within corals-life in an extreme environment. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 163:227-286.

Shen, G. T. y E. A. Boyle. 1987. Lead in corals: reconstruction of historical industrial fluxes to the surface ocean. Earth Planet. Sci. Lett. 82:289-304.

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

Shen, G. T. y E. A. Boyle. 1988. Determination of lead, cadmium and other trace metals in annually-banded corals. *Chem. Geolo.* 67:47-62.

Taylor, R. B., D. J. Barnes y J. M. Lough. 1995. On the inclusion of trace materials into massive coral skeletons. 1. Materials occurring in the environment in short pulses. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 185: 255-278.

Villanueva, F. S. y Botello, A. V. 1992. Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: Una revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 8(1):47-61. En: Caso, M., I. Pisanty y E. Escurra. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Humanos. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C. Talleres gráficos de la empresa S y G. pp. 635-710.

Villanueva-Estrada, R. E. 2000. Evaluación de metales pesados en el área de las plataformas petroleras de la Bahía de Campeche. Tesis de Maestría. Posgrado en Ciencias del Mar. ICMYL-UNAM. En Caso, M., I. Pisanty y E. Escurra. 2004. Diagnóstico ambiental del Golfo de México. Secretaría del medio ambiente y recursos humanos. Instituto Nacional de Ecología. Instituto de Ecología A.C. Talleres gráficos de la empresa S y G. pp. 635-710.

Velásquez, I. B., G. S. Jacinto y F. S. Valera. 2002. The speciation of dissolved copper, cadmium, and zinc in Manila Bay, Philippines. *Mar. Poll. Bull.* 45:210-217.

Ward, W. C. y A. E. Weidie (Eds.) 1978. *Geology and hydrogeology of northeastern Yucatan.* New Orleans Geological Society. New Orleans, LA