

# Concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos y en tres especies de pepino de mar (clase *holothuroidea*) de las costas del Estado de Yucatán, México

Roger Medina González<sup>1</sup>, Carlos Zetina Moguel, Manuel<sup>2</sup> Comas Bolio<sup>3</sup> y Roberto Pat Canul<sup>3</sup>

## RESUMEN

El incremento de las actividades humanas en las costas de Yucatán, México ha propiciado un paulatino deterioro de los ecosistemas costeros. Algunos de los agentes de deterioro no son fácilmente detectables y menos aún si se carece de puntos de referencia. En este trabajo se evalúan las concentraciones de cadmio, cromo, cobre y plomo en los sedimentos y en organismos de tres especies de pepinos de mar (*Holothuria floridana*, *Isostichopus badionotus* y *Astichopus multifidus*), de manera paralela se explora la relación entre las concentraciones de metales pesados en el sedimento y en los pepinos de mar con la finalidad de valorar la posibilidad del uso de estos organismos como bioindicadores. La colecta de muestras se realizó durante el año 2002 en tres zonas de la costa de Yucatán: San Felipe, Progreso y Sisal. Las determinaciones de la concentración de metales en las muestras se hicieron por absorción atómica. Los valores puntuales de las concentraciones en mg/kg de peso seco estimados son los siguientes **Cadmio:** Sedimentos 2.224, *Astichopus multifidus* 0.416, *Isostichopus badionotus* 0.795, *Holothuria floridana* 2.731; **Cromo:** Sedimentos 4.548, *Astichopus multifidus* 0.170, *Isostichopus badionotus* 0.326, *Holothuria floridana* 0.988, **Cobre:** Sedimentos 1.844, *Astichopus multifidus* 0.226, *Isostichopus badionotus* 1.010, *Holothuria floridana* 1.047; **Plomo:** Sedimentos 19.373, *Astichopus multifidus* 0.146, *Isostichopus badionotus*, 4.311, *Holothuria floridana* 2.047 y en el cuerpo del trabajo se presentan los límites mínimo y máximo de estimación para un intervalo de confianza del 95%. Se concluye que no existe una relación clara entre la concentración de los metales en sedimentos y las especies de pepino de mar y que debido a dos perturbaciones naturales ocurridas durante el desarrollo de la investigación los resultados constituyen solamente una referencia sin que se puedan considerar concluyentes para inferir sobre la distribución de los metales pesados en las costas de Yucatán.

**Palabras clave:** Cd, Cr, Cu, Pb, Metales Pesados, *Holothuria floridana*, *Isostichopus badionotus* y *Astichopus multifidus*, Pepinos de mar, Yucatán.

## ABSTRACT

The increase of the human activities in Yucatan Coast, Mexico has caused a gradual deterioration of coastal ecosystems. Some of the deterioration agents are not easily detectable, particularly if it is lacked reference data points. Here, we evaluate Cd, Cr, Cu and Pb concentrations in sediments and tissues of three sea cucumber species: *Astichopus multifidus* (*Am*), *Isostichopus badionotus* (*Ib*) and *Holothuria floridana* (*Hf*), we also explore the relationship between heavy metal concentrations in sediments and sea cucumbers to evaluate its potential use as

<sup>1</sup> Técnico Académico del Cuerpo Académico de Veterinaria

<sup>2</sup> Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental, FIUADY

<sup>3</sup> Técnico Académico del Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental, FIUADY

bioindicadores. Muestras fueron recolectadas durante 2002 en tres zonas de la costa del estado de Yucatán: San Felipe, Progreso y Sisal. Concentraciones de metales pesados fueron medidas por absorción atómica. Los valores promedio obtenidos en mg/kg peso seco fueron: Cadmio: sedimentos, 2.224; *Astichopus multifidus*, 0.416; *Isostichopus badionotus*, 0.795; *Holothuria floridana*, 2.731. Cromio: sedimentos, 4.584; *Astichopus multifidus*, 0.170; *Isostichopus badionotus*, 0.326; *Holothuria floridana*, 0.988. Cobre: sedimentos, 1.844; *Astichopus multifidus*, 0.226; *Isostichopus badionotus*, 1.010; *Holothuria floridana*, 1.047. Plomo: sedimentos, 19.373; *Astichopus multifidus*, 0.146; *Isostichopus badionotus*, 4.311; *Holothuria floridana*, 2.047. Concluimos que no hay una relación entre las concentraciones de metales pesados en sedimentos y en especies de pepino de mar. Los resultados pueden ser utilizados solo como referencia y no para inferencias de distribución debido a dos eventos de perturbación natural que ocurrieron durante este estudio.

**Palabras clave:** Metales pesados, Cd, Cr, Cu, Pb, *Holothuria floridana*, *Isostichopus badionotus*, *Astichopus multifidus*, pepinos de mar, Yucatán.

---

## INTRODUCCIÓN

La zona costera del Estado de Yucatán, México, ha sido siempre un área de gran importancia para las comunidades humanas que habitan en la Península de Yucatán porque es rica en recursos naturales que han sido utilizados con fines alimenticios, energéticos, económicos y estéticos así como otros motivos de índole intangible. El aprovechamiento de estos recursos incluye a) la actividad pesquera que tiene un papel importante en la provisión de alimentos de consumo local, nacional e internacional contribuyendo de manera fundamental en la economía de los puertos y regiones costeras debido a que un importante volumen de la pesca se orienta a la exportación. b) la producción de sal, c) el establecimiento de casas de veraneo y desarrollos turísticos de mayor envergadura, d) la creación de infraestructura de transporte marítimo y en actividades orientadas a la conservación de especies y áreas que resultan de interés para asociaciones nacionales e internacionales (Flores *et al* 1995, CNA 1997, Duch-Gary 1988 y 1991).

Algunas de estas actividades tienen un impacto importante en la estructura y función de la costa, vista desde una perspectiva de ecosistema; por ejemplo la pesca alcanza volúmenes de aproximadamente 40 000 toneladas anuales de pescados y mariscos (INP, 1998) y esto constituye una extracción de biomasa de gran magnitud, la creación de muelles de varios kilómetros genera desviaciones en las corrientes afectando el transporte de sedimentos y el uso de una gran parte de las playas arenosas para la construcción de casas de veraneo altera invariablemente la vegetación y modifica la dinámica y comportamiento de poblaciones animales. La sobreprotección de algunas especies también

puede actuar como un factor de alteración de los flujos de materia y energía en los ecosistemas.

Además de los efectos directos y observables, la actividad humana suele producir disturbios que resultan como una consecuencia indirecta y que no siempre son fácilmente detectables, tal es el caso de el vertimiento de contaminantes procedentes del transporte y uso de combustibles fósiles o el de sustancias (pinturas, recubrimientos, lubricantes, etc.) utilizadas para disminuir el deterioro que los organismos silvestres producen sobre las construcciones humanas como muelles, embarcaciones, artes de pesca, etc. La magnitud de la flota pesquera, de uso turístico y de transporte en las costas de Yucatán, ha ido en aumento paulatinamente y debido a esto es cada vez mayor la cantidad tanto de combustibles fósiles como de metales pesados que llegan a las aguas marinas costeras; no hay un efecto negativo aparente, pero es conveniente tener puntos de referencia e indicadores de los cambios que pudieran tener la concentración de estas sustancias en la zona costera, de tal manera que se puedan adoptar acciones correctivas antes de que se alcancen condiciones de daño severo (Flores *et al* 1995).

Los metales pesados son elementos químicos que en su mayoría se pueden encontrar en la naturaleza tanto en los medios sólido, líquido y gaseoso como formando parte de los organismos vivos. La mayoría de ellos juegan un papel importante en el metabolismo de los organismos ya que son constituyentes enzimáticos, sin embargo a altas concentraciones y ciertas condiciones del medio ambiente estos mismos elementos pueden resultar tóxicos. Por lo común los organismos vivos cuentan con mecanismos para mantener equilibrios internos y evitar la intoxicación, sin embargo bajo ciertas condiciones estos mecanismos pueden ser

insuficientes y producir daños tanto a nivel del metabolismo de los organismos, como a nivel de la transmisión de información genética y por tanto afectar crecimiento o composición genética de las poblaciones y así afectar la estructura y función de los ecosistemas mediante la alteración de la estructura de las comunidades y los flujos de materia y energía (Perin et al 1997, Anandras *et al.* 2002).

La dinámica de los metales pesados es compleja y depende de su naturaleza química así como de los cambios cíclicos, direccionales y esporádicos a los que están sujetos los ecosistemas. Como toda la materia que forma parte de los organismos vivos los metales pesados tienen cierta movilidad entre los depósitos del ecosistema y están sujetos a intercambios de mayor o menor velocidad, en el medio acuático los metales pesados pueden encontrarse disueltos en iones libres o mediante la asociación a otras moléculas o partículas de materia orgánica. Algunas veces se dificulta la detección de los metales pesados directamente del sedimento o de la columna de agua debido a las bajas concentraciones, las características del sedimento que dificultan su colecta, o a un intenso dinamismo de los metales, en estas condiciones puede ser conveniente el uso de organismos capaces de concentrar metales pesados, de tal manera que bajo ciertas condiciones, faciliten la detección de los metales y permitan inferir sobre la dinámica de estos elementos en el ecosistema (Morrisey *et al.* 1994, Haynes 2002, DelValls et al 2002).

Los pepinos de mar son equinodermos pertenecientes a la clase Holothuroidea, estos organismos se alimentan de la materia orgánica asociada al sedimento o a la columna de agua que se encuentra sobre la interfase agua sedimento, debido a ello y a otras características como la posibilidad de identificarlos de una manera simple, a sus hábitos de relativamente poca movilidad, a su tamaño que brinda suficiente tejido para realizar análisis, etc. han sido considerados a ser utilizados como bioindicadores de contaminación de metales pesados. En las costas de Yucatán existen tres especies de pepino de mar que alcanzan tallas grandes (más de veinte centímetros) y son abundantes, sin embargo hasta hace poco su identidad taxonómica era confusa. Este trabajo forma parte de una investigación que tuvo varios objetivos, uno de ellos fue la identificación taxonómica de los pepinos de mar que por su tamaño son potencialmente comercializables, como resultado se encontraron tres especies robustas y abundantes *Astichopus multifidus*, *Isostichopus badiotus* y *Holothuria floridana*. (Zetina *et al.* 2003, Hernández 2003). Otro de los objetivos de la investigación está

relacionado a la posibilidad de desarrollo de una pesquería y el tercero fue evaluar la posibilidad de usar a los pepinos de mar como bioindicadores de contaminación por algunos metales pesados. El financiamiento del proyecto fue compartido por la Universidad Autónoma de Yucatán, el sector social y privado pesquero y el sistema de financiamiento CONACyT SISIERRA.

En el presente estudio se aborda la evaluación de metales pesados en dos componentes del ecosistema marino costero de Yucatán. Por una parte se evalúan las concentraciones de Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu) y Plomo (Pb) en sedimentos considerando que este componente del ecosistema puede constituir uno de los depósitos que mejor refleja la acumulación de metales pesados, de manera paralela se evalúan en organismos cuya alimentación esta basada en elementos nutritivos asociados a los sedimentos como es el caso de tres especies de pepino de mar de las costas de Yucatán: *Holothuria floridana*, *Isostichopus badiotus* y *Astichopus multifidus*. Paralelamente a las determinaciones de la concentración de los metales pesados se explora la relación entre las concentraciones en el sedimento y en las diferentes especies de pepino de mar con el objeto de evaluar la posibilidad del uso de los pepinos de mar como bioindicadores de contaminación debida a los metales pesados estudiados.

Los fondos marinos de la plataforma continental del Banco de Campeche y el norte de la península de Yucatán tienen su origen en la acumulación de materiales calcáreos en su mayoría procedentes de procesos biológicos. Así la precipitación de carbonato de calcio debido a procesos fotosintéticos como la asimilación de carbonatos en estructuras duras de los organismos (carapachos, esqueletos, conchas) y su deposición en el fondo después de la muerte de los organismos contribuyeron a la formación de la plataforma peninsular Yucateca. Se piensa que la formación de la península de Yucatán es un proceso paulatino que se desarrolla en un ambiente de fluctuaciones del nivel del mar y condiciones meteorológicas que responden a ciclos de diferente magnitud; así los procesos de formación de materiales, deposición, erosión, cementación, se siguen en ciclos bajo diferentes condiciones que en ocasiones se repiten en diferentes escalas de tiempo. Estos eventos que dan origen a la plataforma peninsular conforman una estructura que se caracteriza por la presencia de terrazas de materiales calcáreos duros alternados con capas de materiales menos consolidados todo esto con un suave declive hacia el norte. En un plano, la estructura peninsular no es homogénea ni en la parte

emergente ni en la plataforma continental sumergida. Desde la línea de costa hasta el talud continental la plataforma del Banco de Campeche muestra una conformación heterogénea caracterizada por la presencia de áreas de sustrato duro con poco relieve, cavidades longitudinales de diferente longitud, áreas de material no consolidado como lodo, arenas, conchuela, etc. y áreas de una topografía complicada de diferente elevación con respecto al medio en donde se encuentran localizadas y que alcanzan altitudes de hasta ochenta metros sobre la profundidad media en donde se localizan. A pesar de la heterogeneidad de los fondos la distribución de las estructuras sigue patrones más o menos regulares. Así, las elevaciones coralinas forman una franja cerca del talud continental, en dirección a tierra son comunes terrazas de fondo duro alternadas con parches arenosos y cordilleras de baja elevación y hacia la costa se forman franjas paralelas a la costa de rocas planas, cordilleras de diferente longitud y normalmente baja elevación y materiales no consolidados principalmente de grano grande (conchuela) y mediano. Las mayores elevaciones coralinas emergen de la superficie del mar y son muy conocidas, tal es el caso del arrecife Alacranes, Cayo Arcas, Triángulos, entre otros. Otras elevaciones arrecifales no emergen a la superficie pero son también conocidas tanto por los navegantes para quienes pueden representar un peligro como para los pescadores que las han utilizado como bancos pesqueros debido a su gran productividad (Ríos *et al.* 2002, Hildebrand *et al.* 1998).

Los eventos meteorológicos de mayor importancia en la Península de Yucatán tienen componentes cíclicos y ocasionales o menos regulares. Entre los eventos cíclicos se presentan la época de nortes, una época de secas y una época de lluvias. La característica importante de la época de nortes es la presencia dominante de vientos fuertes con dirección hacia las áreas costeras y que tiene un influencia determinante en el movimiento de las masas de agua y de los elementos de deriva que finalmente se dirigen a la costa. Durante la época de sequía los vientos dominantes son vientos de tierra o suestes que imprimen energía al agua superficial con dirección mar adentro. Durante la época de lluvias se alterna la dirección del viento, lo más común es la presencia de vientos de tierra durante una parte del día (comúnmente la madrugada y la mañana) y vientos procedentes del mar (noreste) durante la otra parte del día (comúnmente la tarde y parte de la noche). Durante esta época del año se presenta también un proceso de fertilización de la zona costera debido al aporte de aguas continentales vía conductos subterráneos que desembocan en lagunas costeras y

en sitios puntuales dentro de una franja importante de la costa que alcanza al menos los diez metros de profundidad. Entre la época de secas y época de lluvias es común la ocurrencia de un evento muy importante en el ambiente costero de la plataforma peninsular. Se trata de una surgencia de aguas profundas procedentes del canal de Yucatán que fertilizan las aguas de la plataforma incrementando notablemente la productividad primaria. Este evento es anual aunque su intensidad varía y algunos años es más notable. Aunque la presencia de tormentas tropicales, ciclones o huracanes son componentes anuales en las aguas del Caribe, no todos los años siguen las mismas rutas ni se presentan con igual intensidad, sin embargo en los últimos años la presencia de eventos de gran magnitud ha sido más notable. Estos eventos tienen la capacidad de mover grandes cantidades de agua superficial y de alterar de una manera considerable la configuración del hábitat costero. Su efecto sobre las comunidades marinas rompe equilibrios por lo que constituye una fuerza perturbadora de gran intensidad y poca duración de manera que después de presentarse las comunidades tienden a nuevos equilibrios algunas veces bajo condiciones considerablemente distintas (Ríos *et al.* 2002).

La corriente marina característica del área de estudio es la corriente de Yucatán, esta corriente tiene su origen en la corriente nor - ecuatorial que cruza el Atlántico Norte hacia América entre los cinco y veinte grados de latitud norte. Una parte de esta corriente se une a la corriente sur ecuatorial que corre al norte de Brasil como corriente de las Guayanas y penetra al Caribe por el arco antillano y forman la corriente del Caribe, el flujo dominante en el Caribe es hacia el Oeste Noroeste hasta arribar a las costas de Yucatán. Al sur de la Isla de Cozumel el núcleo de la corriente tuerce hacia el norte y se alinea con la costa para dirigirse al canal de Yucatán para formar la corriente de Yucatán. La velocidad que alcanza es de 4 nudos. A partir de Cabo Catoche el núcleo de la corriente se alinea con el borde de la plataforma aunque la posición exacta cambia a lo largo del año. El núcleo de la corriente se separa de la plataforma en un punto que varía en relación con la penetración y forma la corriente de lazo dentro del Golfo de México. Adicionalmente a esta corriente que baña la mayor parte del Banco de Campeche durante todo el año, en el área se presenta una surgencia con carácter estacional y que se presenta con mayor intensidad alrededor de Abril y que se ha observado en septiembre (Ríos *et al.* 2002).

Los pepinos de mar han sido considerados como organismos apropiados para ser utilizados como

bioindicadores debido a que presentan algunas características convenientes para ello como son la forma de alimentación, cierta facilidad para identificarlos, sus hábitos de relativamente poca movilidad y tamaño que brinda suficiente tejido para realizar análisis. En el Mar Caribe se han propuesto algunas especies como son *Isostichopus badiotus* y *Holothuria mexicana*.( Rojas-Guitart 1990, Laboy-Nieves y Conde 2001).

Las costas del Estado de Yucatán no están sometidas a alguna fuente demasiado evidente de contaminación por metales pesados, en todo caso el crecimiento de las flotas pesqueras y navieras, con el consecuente uso de pinturas, combustibles fósiles y otros productos que contienen metales pesados pudieran contribuir a una mayor presencia sin que haya hasta el momento una evidencia clara de perturbación antropogénica, sin embargo independientemente de la manifestación de alteraciones es importante contar con mediciones de concentración de los metales pesados que permitan en el futuro establecer comparaciones y tomar medidas preventivas o correctivas según el caso, por otra parte es importante conocer las concentraciones existentes en organismos que probablemente serán usados para consumo humano de tal manera que al desarrollar una pesquería no se presenten en el futuro condiciones imprevistas como restricciones en la exportación por la presencia de supuestos contaminantes. Una tercera justificación tiene que ver con la exploración de organismos que al ser usados como indicadores brinden de una manera más barata y eficiente, una mayor información sobre los procesos de deterioro antropogénico de los sistemas naturales.

Los pepinos de mar son organismos que pueden servir como bioindicadores debido a que dada su forma de alimentación pueden almacenar mayores concentraciones de metales pesados que el sedimento de las áreas en que viven, a que la concentración de metales en su tejido muscular está relacionada directamente a la concentración de metales en el sedimento de sus hábitats y a que la determinación de las concentraciones de metales en los tejidos es más simple que la determinación en sedimentos y brinda mayor información sobre la bioacumulación.

Los objetivos de este trabajo son: a) evaluar la concentración de Cd, Cr, Cu y Pb en los sedimentos de los sitios donde se localizan organismos de las especies de pepino de mar *Astichopus multifidus*, *Isostichopus badiotus* u *Holothuria floridana*, así como en los tejidos de los organismos de estas especies de pepino de mar. b) comparar las concentraciones de los metales

mencionados en sedimentos y en las especies de pepino de mar colectados en tres áreas (oriental, central y poniente) de la costa del estado de Yucatán y c) Evaluar la relación entre las concentraciones de metales pesados en sedimentos y las concentraciones de los metales en cada una de las especies de pepino de mar de interés en este trabajo.

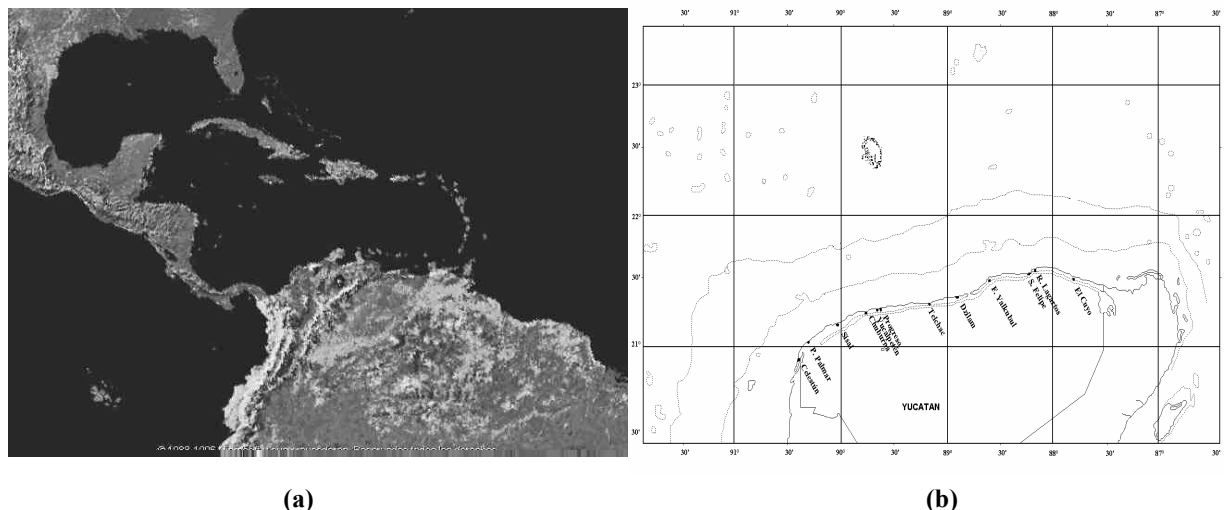
## METODOLOGÍA

Se realizaron colectas de organismos y muestras de sedimento durante el período comprendido entre enero y septiembre del año 2002. Los sitios de colecta están situados en las costas de Yucatán desde el puerto de Las Coloradas hasta el puerto de Sisal Yucatán. En la figura 1 se describen las áreas de muestreo. La toma de muestras se hizo por buceo, los pepinos de mar fueron colectados manualmente y almacenados en bolsas de plástico preparadas, las muestras de sedimento se colectaron con una cuchara de plástico tomando los primeros centímetros de sedimento superficial (desde uno a cinco centímetros dependiendo del tipo de fondo). Tanto los pepinos de mar como los sedimentos colectados se mantuvieron en neveras con hielo así fueron transportadas al laboratorio y congeladas a  $-20^{\circ}\text{C}$ , mientras se iniciaba su tratamiento para la determinación de metales pesados. Para obtener las concentraciones de metales en peso seco las muestras fueron secadas en una estufa a una temperatura constante de  $80^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, después de ser pesadas se calcinaron a  $550^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas con el fin de eliminar la materia orgánica. Las cenizas fueron disueltas en HCL 1:1 (50 ml) con el objeto de solubilizar los metales. Posteriormente se filtraron utilizando un filtro Whatman # 40 y se aforó en matraces volumétricos de 100 ml para su análisis con el equipo de absorción atómica. Se corrieron blancos de reactivos para realizar las correcciones pertinentes. La determinación de metales (Cd, Cr, Cu y Pb) se hizo con un aparato VARIAN SPECTRA 600. Los resultados se reportan en mg/kg de peso seco de la muestra ( Szefer 1998, Bjerregaad y Depledge 2002).

El análisis de las concentraciones de metales pesados se hizo utilizando técnicas de estadística descriptiva. En primera instancia se realizaron estimaciones de mínimos, máximos y promedios de las concentraciones de los metales Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos, y para cada una de las tres especies en cada área de muestreo (Costa Poniente, Costa Central y Costa Oriental). Posteriormente se compararon las concentraciones entre las áreas de muestreo de cada uno de los metales pesados en sedimentos y en cada una de las tres especies de pepino de mar sujetas a

estudio. También se realizaron comparaciones entre las concentraciones de los metales pesados entre los sedimentos y las tres especies de pepino de mar. Para las comparaciones se probaron análisis de varianza con interacciones y dependiendo de los resultados se utilizaron las interacciones o los efectos principales, en el análisis jugo un papel importante el análisis visual de los resultados (gráficos de dispersión ) así como diversos análisis de regresión que se realizaron

para probar la relación entre posibles variables de explicación (CONCENTRACIÓN EN SEDIMENTOS) y variables dependientes (CONCENTRACIONES EN LOS ORGANISMOS DE CADA ESPECIE). Para los análisis de varianza, pruebas de contraste y análisis de regresión se utilizó como criterio de rechazo de las hipótesis nulas un nivel de significancia alfa = 0.05 (SOKAL AND ROLF 1997).



**Figura 1.- (a) Posición de la península de Yucatán en relación al Mar Caribe y Golfo de México; (b) Áreas donde se realizaron las campañas de buceo para la colecta de muestras de sedimentos y de las tres especies de pepinos de mar.**

El análisis de las concentraciones de metales pesados se hizo utilizando técnicas de estadística descriptiva. En primera instancia se realizaron estimaciones de mínimos, máximos y promedios de las concentraciones de los metales Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos, y para cada una de las tres especies en cada área de muestreo (Costa Poniente, Costa Central y Costa Oriental). Posteriormente se compararon las concentraciones entre las áreas de muestreo de cada uno de los metales pesados en sedimentos y en cada una de las tres especies de pepino de mar sujetas a estudio. También se realizaron comparaciones entre las concentraciones de los metales pesados entre los sedimentos y las tres especies de pepino de mar. Para las comparaciones se probaron análisis de varianza con interacciones y dependiendo de los resultados se utilizaron las interacciones o los efectos principales, en el análisis jugo un papel importante el análisis visual de los resultados (gráficos de dispersión ) así como diversos análisis de regresión que se realizaron para probar la relación entre posibles variables de explicación (CONCENTRACIÓN EN

SEDIMENTOS) y variables dependientes (CONCENTRACIONES EN LOS ORGANISMOS DE CADA ESPECIE). Para los análisis de varianza, pruebas de contraste y análisis de regresión se utilizó como criterio de rechazo de las hipótesis nulas un nivel de significancia alfa = 0.05 (SOKAL AND ROLF 1997).

## RESULTADOS

Para una primera lectura de los datos en las Tablas 1 a 4 se presentan las concentraciones de los metales pesados Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos, en organismos de *Holothuria floridana* de *Isostichopus badionotus* y de *Astichopus multifidus*, para cada una de las zonas (Costa Poniente, Costa central y Costa Oriental) de muestreo. En estas tablas se pueden hacer algunas observaciones preliminares a) las mayores concentraciones de Cd se presentaron en la especie *Holothuria floridana* en las costas central y poniente, las concentraciones son inclusive mayores que las contenidas en sedimentos b) Las mayores

concentraciones de Cr se presentaron en sedimentos y la concentración en las especies de pepino de mar fue más homogénea c) las mayores concentraciones de Cu se presentaron en sedimentos y d) Las mayores concentraciones de plomo se presentaron también en los sedimentos.

Los análisis de varianza de concentraciones de metales pesados realizados entre las zonas de muestreo indican que no hay evidencia de diferencias en las concentraciones de Cd, Cr y Cu en sedimentos, sin embargo en análisis de la concentración de Pb en los sedimentos se observan diferencias significativas y una prueba de contrastes revela que las Costas poniente y Oriente forman un grupo homogéneo ( $\alpha=0.05$ ) y la Costa Central presenta una menor concentración. Análisis similares realizados con las concentraciones de cada metal estudiado y en cada una de las especies sugiere que no existen diferencias significativas en la concentración de metales de las especies de diferentes zonas de muestreo a excepción del caso de la concentración de Cromo en *Astichopus multifidus*. En este caso una prueba de contrastes indica la formación de dos grupos homogéneos: 1) La Costa Poniente con la zona Oriental y 2) La Costa Oriental con la Zona Central. Sin embargo las concentraciones promedio de este metal son del orden de 0.169 mg/kg (Costa Poniente), 0.172 mg/kg (Costa Central) y 0.172 mg/kg (Costa Oriental).

En relación a la concentración de los metales (cada metal) en el sedimento y en las tres especies de pepinos de mar las comparaciones (análisis de varianza) en todos los casos sugieren diferencias, así en el caso del Cadmio se presentan diferencias altamente significativas y el análisis de contrastes indican diferencias entre los sedimentos y entre cada una de las especies de pepino de mar. Las mayores concentraciones de cadmio se presentan en *Holothuria floridana*, los sedimentos presentan la siguiente mayor concentración, le sigue *Isostichopus badionotus* y la menor concentración aparece en *Astichopus multifidus*. En relación al Cromo los sedimentos y *H. floridana* forman un grupo homogéneo de mayor concentración en relación a el otro grupo homogéneo formado por *A. multifidus* y *I. badionotus*. La concentración de cobre fue mayor en sedimentos, se formó un grupo homogéneo constituido por *I. badionotus* y *H. floridana* y *A. multifidus* presentó la menor concentración. Las comparaciones realizadas con las concentraciones de plomo indican que este metal es más abundante en los sedimentos, con concentración intermedia en *H. floridana* y *I. badionotus* y la menor concentración se presentó en *A. multifidus*. En la Tabla 6 se reportan

las estimaciones de las concentraciones medias y los límites inferior y superior de estimación considerando un intervalo de confianza del 95%.

Los análisis de regresión entre la concentración de los metales en sedimentos y la concentración de los metales en los organismos sugieren que para el caso del cromo no existe ninguna relación a un nivel de significancia de 0.05, los valores del coeficiente de regresión ( $R^2$ ) para la concentración de cadmio en sedimentos y las especies *A. multifidus*, *I. badionotus* y *H. floridana* son respectivamente 0.59%, 8.02% y 0.25%, para el cromo en sedimentos y las especies *A. multifidus*, *I. badionotus* y *H. floridana* son respectivamente 21.31%, 0.68% y 4.5%, para el cobre en sedimentos y las especies *A. multifidus*, *I. badionotus* y *H. floridana* son respectivamente 0.03%, 0.05% y 26.94%, en el último caso la explicación del modelo lineal es significativa ( $P=0.003$ ). Para el caso del plomo en sedimentos y las especies *A. multifidus*, *I. badionotus* y *H. floridana* son respectivamente 0.00%, 26.78% y 0.51%, la explicación del modelo lineal para la concentración de plomo en *I. badionotus* en relación al plomo en sedimentos es significativa ( $P=0.013$ ). A pesar de la aparente relación entre la concentración de cobre en sedimentos y la concentración de cobre en *H. floridana* así como de la concentración de plomo en sedimentos y la concentración de plomo en *I. badionotus*, las explicaciones que se obtienen por el cálculo del coeficiente de regresión son en realidad muy pobres.

## DISCUSIÓN

Las costas del estado de Yucatán, en el área en que se llevó a cabo este estudio, tienen una fuerte influencia de aguas procedentes del mar Caribe y también de aguas profundas procedentes del Canal de Yucatán. En general la corriente superficial que baña la costa se desplaza con una dirección de oriente a poniente y aunque este patrón puede variar, en realidad lo hace de una manera muy esporádica de tal manera que el arrastre de sedimentos y posiblemente de metales pesados asociados a ellos, se da en el sentido este-oeste. Otra fuente natural posible de metales pesados es el agua subterránea procedente de la península de Yucatán y que desemboca en las costas. Las fuentes antropogénicas principales se encuentran localizados en el área que en este trabajo denominamos Costa Central y que corresponde a la zona de mayor actividad de embarcaciones pesqueras, marítimas y mayor concentración humana además que representa la parte de la costa donde desembocan las aguas subterráneas procedentes de la mayor

ciudad ubicada en el norte de la Península de Yucatán: la ciudad de Mérida. Si se considera que los sedimentos marinos son sitios de deposición de metales pesados, entonces podría esperarse que la mayor concentración de estos metales se presentara en las áreas denominadas costa central y costa poniente, esto no ocurrió así de una manera clara y es posible que se deba a una intensa dinámica en los sedimentos de los metales estudiados tanto en escalas temporales como en escalas locales. En el período de un año ocurren importantes sucesos que pueden modificar los equilibrios químicos detectables de los sedimentos superficiales, los nortes por ejemplo son vientos de alta intensidad que debido a la poca profundidad y débil inclinación de la costa juegan un papel importante en la distribución y movimientos de los sedimentos superficiales, por otra parte durante el verano ocurren dos procesos de gran importancia: las lluvias que debido a la naturaleza cárstica de la Península de Yucatán siguen rutas preferenciales y desembocan en manantiales situados aún a varios kilómetros de la costa y que alteran las propiedades del agua que pueden influir en la especiación química de los metales y una surgencia de aguas profundas procedentes del canal de Yucatán con una

contribución mineralógica importante. Todos estos sucesos tienen como consecuencia que el estudio de la dinámica de elementos como los metales pesados requieran de esfuerzos difícilmente justificables. Adicionalmente, durante la realización de la colecta de muestras ocurrieron dos sucesos de gran magnitud que afectan la dinámica de los sedimentos, durante el período de estudios se presentó una marea roja que alteró sustancialmente los procesos biológicos del área costera y posteriormente la costa de Yucatán fue víctima de uno de los ciclones más destructivos de los últimos cincuenta años. Ambos sucesos dificultan la interpretación de las determinaciones de metales pesados ya que es imposible suponer condiciones estables en un período de tiempo de años. Bajo esta perspectiva aunque los resultados de las determinaciones de concentraciones de metales en sedimento y los resultados de los análisis estadísticos sugieran algún patrón, consideramos que su interpretación debe considerarlo como algo transitorio, sin embargo desde una perspectiva más general las concentraciones de metales que se reportan en este trabajo constituyen un punto de referencia.

**Tabla 1.- Concentraciones de Cd, Cr, Cu y Pb en sedimentos (mg/kg de peso seco) de sitios donde se colectaron pepinos de mar de las especies *A. multifidus*, *I. badionotus* o *H. floridana***

	Concentración de Cd en peso seco mg/kg	Concentración de Cr en peso seco mg/kg	Concentración de Cu en peso seco mg/kg	Concentración de Pb en peso seco mg/kg
<b>Costa poniente</b>				
<b>Mínimo</b>	1.747	3.224	1.215	10.900
<b>Promedio</b>	2.309	4.536	1.970	19.743
<b>Máximo</b>	2.946	5.983	2.529	28.534
<b>Costa central</b>				
<b>Mínimo</b>	1.846	3.419	0.819	2.474
<b>Promedio</b>	2.272	4.297	1.638	15.196
<b>Máximo</b>	2.795	5.277	2.386	26.135
<b>Costa oriental</b>				
<b>Mínimo</b>	1.773	3.498	1.141	16.994
<b>Promedio</b>	2.116	4.757	1.901	22.361
<b>Máximo</b>	2.834	6.373	2.501	27.077



Tabla 2.- Concentraciones de metales pesados en *A. multifidus*. Los resultados se reportan en mg/kg de peso seco

	<i>A. multifidus</i> Cd	<i>A. multifidus</i> Cr	<i>A. multifidus</i> Cu	<i>A. multifidus</i> Pb
<b>Costa poniente</b>				
<b>Mínimo</b>	0.362	0.161	0.107	0.109
<b>Promedio</b>	0.426	0.167	0.231	0.147
<b>Máximo</b>	0.464	0.180	0.347	0.181
<b>Costa central</b>				
<b>Mínimo</b>	0.376	0.161	0.115	0.117
<b>Promedio</b>	0.419	0.173	0.243	0.146
<b>Máximo</b>	0.456	0.179	0.346	0.181
<b>Costa oriental</b>				
<b>Mínimo</b>	0.363	0.161	0.115	0.115
<b>Promedio</b>	0.398	0.172	0.193	0.147
<b>Máximo</b>	0.452	0.177	0.286	0.168

Tabla 3.- Concentraciones de metales pesados en *Isostichopus badionotus* Los resultados se reportan en mg/kg de peso seco

	<i>I badionotus</i> Cd	<i>I badionotus</i> Cr	<i>I badionotus</i> Cu	<i>I badionotus</i> Pb
<b>Costa poniente</b>				
<b>Mínimo</b>	0.746	0.283	0.122	3.015
<b>Promedio</b>	0.806	0.331	1.027	4.592
<b>Máximo</b>	0.849	0.380	1.883	5.223
<b>Costa central</b>				
<b>Mínimo</b>	0.755	0.287	0.236	3.044
<b>Promedio</b>	0.793	0.322	0.985	4.113
<b>Máximo</b>	0.834	0.371	1.323	5.078
<b>Costa oriental</b>				
<b>Mínimo</b>	0.756	0.300	0.576	3.352
<b>Promedio</b>	0.788	0.329	1.028	4.281
<b>Máximo</b>	0.825	0.379	1.810	4.832

Tabla 4.- Concentraciones de metales pesados en *Holothuria floridana*. Los resultados se reportan en mg/kg de peso seco.

	H floridana Cd	H floridana Cr	H floridana Cu	H floridana Pb
<b>Costa poniente</b>				
<b>Mínimo</b>	1.119	0.125	0.950	1.147
<b>Promedio</b>	2.431	1.001	1.051	2.073
<b>Máximo</b>	4.580	1.791	1.137	2.804
<b>Costa central</b>				
<b>Mínimo</b>	1.143	0.139	0.960	1.256
<b>Promedio</b>	2.914	0.816	1.025	2.109
<b>Máximo</b>	4.522	1.546	1.096	2.752
<b>Costa oriental</b>				
<b>Mínimo</b>	1.988	0.664	1.027	1.246
<b>Máximo</b>	2.894	1.207	1.073	1.927
<b>Máximo</b>	3.509	1.735	1.134	2.790

Tabla 5.- Concentraciones de metales pesados en sedimentos, *Astichopus multifidus*, *Isostichopus badionotus* y *Holothuria floridana*. Las concentraciones se presentan en mg/kg de peso seco; n se refiere al número de determinaciones y los límites de estimación inferior y superior fueron obtenidos por el método de diferencia significativa mínima.

	n	Promedio	Limite inferior (95%)	Limite superior (95%)
<b>Cadmio</b>				
<b>Sedimentos</b>	50	2.224	2.077	2.371
<i>Astichopus multifidus</i>	30	0.416	0.226	0.607
<i>Isostichopus badionotus</i>	22	0.795	0.573	1.017
<i>Holothuria floridana</i>	30	2.731	2.541	2.921
<b>Cromo</b>				
<b>Sedimentos</b>	50	4.548	4.370	4.725
<i>Astichopus multifidus</i>	30	0.170	-0.058	0.399
<i>Isostichopus badionotus</i>	22	0.326	0.058	0.594
<i>Holothuria floridana</i>	30	0.988	0.758	1.217
<b>Cobre</b>				
<b>Sedimentos</b>	50	1.844	1.740	1.947
<i>Astichopus multifidus</i>	30	0.226	0.093	0.360
<i>Isostichopus badionotus</i>	22	1.010	0.854	1.166
<i>Holothuria floridana</i>	30	1.047	0.913	1.180
<b>Plomo</b>				
<b>Sedimentos</b>	50	19.373	18.194	20.552
<i>Astichopus multifidus</i>	30	0.146	-1.375	1.668
<i>Isostichopus badionotus</i>	22	4.311	2.534	6.088
<i>Holothuria floridana</i>	30	2.047	0.525	3.569

Es importante señalar que no se encontró una relación significativa entre el contenido de metales en los sedimentos y el contenido de metales en ninguna de las especies de pepino de mar, esto de alguna manera limita la posibilidad del uso de alguna de las especies como bioindicadores. Otro elemento importante para fundamentar este criterio es que la colecta y el manejo de muestras de sedimento son mucho más fáciles que la colecta y manejo de los pepinos de mar, cualquiera que sea la especie. Independientemente de que estos organismos adquieren sus alimentos de los sedimentos, todo parece indicar que cuentan con mecanismos de excreción que impiden una bioacumulación mayor a la que sus necesidades metabólicas y fisiológicas requieren, al menos en las condiciones en las cuales se llevó a cabo este trabajo.

Tanto las concentraciones de metales pesados en sedimentos como las concentraciones encontradas en los pepinos de mar se encuentran en los intervalos de las concentraciones halladas en sedimentos sin perturbaciones por contaminación o en otras especies de pepinos de mar del Mar Caribe, los valores reportados para el Golfo de Papúa, Golfo de Cádiz, las costas del Adriático y costas del mar Caribe Costarricense y Venezolano (Rojas, 1990, Laboy-Nieves y Conde 2001, Storelli *et al* 2001, Haynes y Kwan 2002, DelValls *et al* 2002)

### CONCLUSIONES

No existen evidencias suficientes para establecer una relación directa entre la concentraciones de los metales analizados en sedimentos y en los organismos de las especies de pepino de mar que se utilizaron en este trabajo.

Las concentraciones de los metales pesados analizados en este trabajo son concentraciones que se pueden considerar bajas en relación a los valores reportados en otras partes del mundo, tanto en lo que se refiere a sedimentos como en lo relativo a la

concentración en las especies de pepino de mar utilizadas.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren que el uso de los pepinos de mar como bioindicadores no es conveniente, debido a que no se detectó una relación de las concentraciones de metales en sedimentos con las concentraciones de metales en los organismos, además los pepinos de mar son organismos difíciles de manejar y con concentraciones de metales generalmente menores a las que se pueden encontrar en los sedimentos.

Como recomendación pensamos que es conveniente realizar mediciones de la concentración de metales en las costas del estado de Yucatán pero principalmente en zonas muy localizadas de intensa actividad pesquera y naviera. La dinámica de la costa es tan intensa y la presencia de los metales aquí analizados tan pobre que no se justifica un esfuerzo muy grande para realizar acciones de monitoreo de contaminación por estos metales.

### RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo financiero de los sectores productivos, gubernamental y académico en el marco del sistema de financiamiento CONACYT-SISIERRA Clave: 20000607011. En este esfuerzo conjunto participaron la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán y las Cooperativa pesqueras "Pescadores de San Felipe", "Red Peninsular" y "Pescadores de Sisal". Agradecemos a Mauricio Garduño por el fuerte apoyo brindado desde la dirección del CRIP Yucalpetén, a Lorenzo Can (Tigre), Ramón Díaz, Efraín Ortiz, Javier Rivas, Carlos Herrera, Domingo Addiego, José Luis Carrillo, Roberto Centeno, Francisco Duarte, Flor Romero, Elba Castillo, Roger Méndez, Carlos Quintal, Sarita Frontana, Manuel Koyoc y a todos ellos por el apoyo económico, material, técnico y de otra índole brindado y que permitió la conclusión de este trabajo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANANDRAJ A. , D.J. MARSHALL, M.A. GREGORY AND T.P. McCLURG. 2002. Metal accumulation, filtration and O<sub>2</sub> uptake rates in the mussel *perna perna* (Mollusca: Bivalvia) exposed to Hg<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup>. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C Toxicology & Pharmacology** 132 (3) 355-363.
- BJERREGAARD P. AND M.H. DEPLEDGE 2002. Trace metal concentration and contents in the tissues of shore crab *Carcinus maenas*: effects of size and tissue hydration. **Marine Biology** 141: 741-752.

CNA. 1997. Cortes litológicos de la costa yucateca. Delegación regional de la Comisión Nacional del Agua. Mérida, Yucatán.

DUCH-GARY J. 1988. **La conformación territorial del estado de Yucatán**. Universidad Autónoma de Chapingo. México

DUCH-GARY J. 1991. **Fisiografía del estado de Yucatán**. Universidad Autónoma de Chapingo. México

DELVALLS T.A., J.M. FORJA AND GÓMEZ-PARRA A. 2002. Seasonality of contamination, toxicity, and quality values in sediments from littoral ecosystems in the Gulf of Cádiz (SW Spain). *Chemosphere* (46) 1033-1043.

FLORES J. S., BATLLORI E., VILLASUSO M. Y A. MENDOZA. 1995. **Marco referencial para el manejo de la zona costera de la Península de Yucatán**. CESE. Doc. técnico No 1.

HAYNES D. AND D. KWAN 2002. Trace metals in sediments from Torres Strait and The Gulf of Papua: Concentrations, distributions and water circulation patterns. **Marine Pollution Bulletin** (44) 1296-1313.

HERNANDEZ-HERRERA I.C. 2003. Identificación taxonómica de pepinos de mar comercializables (Clase Holothuroidea) en las costas de Yucatán, México. Tesis para obtener el título de licenciado en Biología. Universidad Autónoma de Yucatán. 44 pág.

HILDEBRAND A.R., M. PILKINSTON, C. ORTIZ-ALEMÁN, R.E. CHAVÉZ, M. CONORS. E. GRANIEL-CASTRO, A. CAMARA-ZI, J.F. HALPENNY AND D. NIEHAUS. 1998. Mapping Chicxulub crater structure with gravity and seismic reflection data. In GRADY, M. M., HUTCHINSON, R. McCALL, G.J.H. & ROTHERY, D.A. (Eds.) **Meteorites: flux with time and impact effects**. Geological Society. London. Special Publications, 140, 155-176.

INP. 1998. **Sustentabilidad y Pesca Responsable en México**. SEMARNAP. México.

LAVOY-NIEVES E.N. AND J.E. CONDE 2001. Metal levels in eviscerated tissue of shallow-water deposit-feeding holothurians. **Hidrobiologia** 459: 19-26.

MORRISEY D.J., UNDERWOOD A.J., J.S. STARK AND L. HOWITT. 1994. Temporal variation in concentration of Heavy metals in marine sediments. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** (38) 271-282.

PERIN G. FABRIS R., MANENTE S., REBELLO WAGENER A., HAMACHER C. AND S. SCOTTO. 1997. A five-year study on the heavy-metal pollution of Guanavara bay sediments (Rio de Janeiro, Brazil) and Evaluation of the metal bioavailability by means of geochemical speciation. **Wat. Res.** 31(12) 3017-3028.

PERRY E., MARIN L., McCLAIN J. AND VELÁZQUEZ G. 1995. Ring of cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, Mexico. Its hidrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater. **Geology**, 23, 17-20.

RIOS-LARA, G.V., ZETINA-MOGUEL C., BELLO-PINEDA J. Y P. ARCEO-BRICEÑO. 2002. Modelo de distribución Geográfica de áreas de reproducción de la langosta (*Panulirus argus*) en las zonas arrecifales profundas de las costas de Yucatán. 55th Gulf and Caribbean Fisheries Institute Meeting. Xel Ha Quintana Roo, México 11-15 de Noviembre del año 2002.

ROJAS-GUITART M.T. 1990. Determinación de cadmio, cromo, cobre, hierro manganeso, plomo y zinc en el pepino de mar *Holothuria* sp. (ECHINODERMATA) del arrecife coralino del parque nacional Chauita, Costa Caribe, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Química de la Facultad de Ciencias. Universidad de Costa Rica. 69 pp.

SOKAL R.R. AND F.J. ROLF, 1997. **Biometry**. 3<sup>rd</sup> edn. 3<sup>rd</sup> printing. W.H. Freeman, New York.

STORELLI M.M., A. STORELLI AND G.O. MARCOTRIGIANO. 2001. Heavy metals in the aquatic environment of the southern Adriatic Sea, Italy Macroalgae, Sediments and benthic species. **Environment International (26) 505-509.**

SZEFER P. 1998. Distribution and behaviour of selected heavy metals and other elements in various components of the southern Baltic ecosystem. **Applied Geochemistry 13 (3) 287-292.**

ZETINA- MOGUEL C., RIOS-LARA G.V., HERNANDEZ-HERRERA I., GUEVARA-ORTIZ M., ORTIZ-AVILEZ E., POOL-GOMEZ J. 2003. **Catálogo de especies de pepino de mar comercializables del estado de Yucatán.** Ed. Universidad Autónoma de Yucatán. México.