



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**ESTUDIO DE LA CONTAMINACIÓN POR PLOMO Y
MERCURIO EN *PETENIA SPLENDIDA* Y *CICHLASOMA*
UROPTHALMUS EN LA RIBERA DEL RÍO HONDO**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERA AMBIENTAL

PRESENTA
REYNA ISABEL HERNÁNDEZ BARRERA

DIRECTOR DE TESIS
DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ



ASESORES
DR. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO
DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA





UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS ELABORADO BAJO SUPERVISIÓN DEL
COMITÉ DE ASESORÍA Y APROBADO COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE
QUINTANA ROO
SERVICIOS ESCOLARES
TITULACIONES

COMITÉ DE TRABAJO DE TESIS



DIRECTOR:

DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ

ASESOR:

Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO

ASESOR:

DR. JOEL OMAR YAM GAMBOA

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme el regalo tan maravilloso de la vida, por nunca dejarme sola en los momentos más difíciles y por darle a mi madre vida y salud para ver llegar a ser una profesionalista.

A MI MADRE

Ana María Barrera Torres una mujer incansable, que siempre ha luchado para salir a delante, gracias a esta mujer soy la mujer que soy, le debo la vida y más aún mi carrera profesional, sin su apoyo no habría logrado cumplir esta meta y es por ello que le agradezco y dedico este trabajo, como fruto de su esfuerzo.

Gracias madre, gracias por todo lo que has hecho por mí, eres mi HEROE, Te Amo.

A mis hermanos

Por creer y confiar en mí, por darme su apoyo en todo lo que yo decidiera hacer, por su amistad y por el amor que nos tenemos, gracias a cada uno de mis 5 hermanos, los amo.

A mis amigas(os)

A ellas que junto conmigo luchamos para terminar nuestra carrera, siempre apoyándonos y creyendo que lo lograríamos, este logro también es de ustedes, gracias por su amistad y por todo el cariño.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer especialmente al Dr. José Manuel Carrión Jiménez por ser mi maestro, por ser mi amigo y sobre todo por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto a su lado, por su confianza y creer siempre en mí, sin su apoyo no lo habría logrado, mil gracias.

También quiero agradecer a todos y cada uno de mis asesores de tesis, por tomarse el tiempo de estar conmigo, apoyarme y por creer en mí, gracias con todo mi corazón.

A mis maestros de la carrera, gracias por sus conocimientos, por su paciencia, ellos que son parte fundamental en la formación de un profesionista, gracias por tener ese amor a enseñar.

Y también a la Universidad de Quintana Roo, por darme la oportunidad de formarme como profesionista.

Índice

I. Introducción	1
1.1 Objetivo General.....	4
1.2 Objetivos Específicos	4
II. Materiales y Métodos	5
2.1 Área de Estudio	5
2.2 Recolección y Tratamiento de Muestras	6
2.3 Determinación de Mercurio y Plomo	6
2.4 Determinación de Amonio, Nitrato y Fosforo	7
2.5 Cálculo del Índice de Peligrosidad.....	7
III. Resultados y Discusión	8
3.1 Conclusiones	14
3.2 Bibliografía	15

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La ribera del Río Hondo se ubica entre las coordenadas de 17°30' a 18°15' de latitud norte y 88°10' a 88°20' de longitud oeste. El clima prevaleciente en la ribera del Río Hondo según la clasificación de Kopen modificada por Enriqueta García, es del tipo Aw o cálido subhúmedo, con lluvias en verano y estación seca en invierno. Específicamente se trata del subtipo climático Ax' (W1), las temperaturas mínimas medias mensuales varían de 17.5° C en enero y febrero a un promedio de 23° C durante abril y septiembre. Las temperaturas máximas promedian 33.4° C durante abril a septiembre. A través de la cuenca del Río Hondo se encuentra la zona fronteriza México-Belice, en ella se comparten una geografía similar, tanto en relación con el clima, suelo, vegetación y fauna, como a su origen geológico. En la ribera del Río Hondo habitan varias especies de mojarra comestibles entre ellas la *Petenia Splendida* conocida como mojarra tenguayaca y la especie *Cichlasoma urophthalmus* conocida como mojarra castarrica (Pérez y Páramo, 2008). La mojarra tenguayaca pertenece a la familia Cichlidae, distribuyéndose en la región sureste de México y en Centroamérica,

siendo una especie que soporta bajas concentraciones de oxígeno disuelto (desde 1.6 mg L⁻¹) y altas concentraciones de amonio (hasta 0.55 mg L⁻¹ NH₄⁺), además presenta una buena capacidad para soportar los cambios de temperatura (Caro *et al.*, 1994). La tenguayaca, es la especie más apreciada y de mayor valor comercial entre las mojarras del sureste de México (Pérez y Páramo 2008). Esta especie presenta un cuerpo mucho más largo que ancho, con mandíbulas protráctiles especializadas para la caza de pequeñas presas situada en el frente de la cabeza, es de nado sumamente rápido. El tamaño alcanzado es mucho más grande en la naturaleza que lo que puede alcanzar en acuarios, estos peces pueden alcanzar una longitud de 50 cm, el macho será de mucho mayor tamaño y presentará una mandíbula mucho más prominente a la hembra, fuera de esto presentan coloraciones similares. En la reproducción la hembra selecciona el área de la puesta, el macho hará exhibiciones enfrente de la hembra y juntos realizarán una especie de baile acuático con la finalidad de estimular la puesta, una vez que los huevecillos son puestos ambos padres cuidaran de ellos hasta que tres días después de la deposición los huevos eclosionan y una semana después los alevines nadan libremente.

La mojarra castarrica o *Cichlasoma urophthalmus* es un pez de agua dulce de la familia Cichlidae que es nativo del sureste de México y también se distribuye ampliamente en varios países de Centroamérica (Álvarez del Villar, 1970, Miller, 1992, Miller *et al.*, 2005) dicha especie, ha sido estudiada desde varios aspectos de biología básica y por ello se considera de interés para programas de acuicultura, de cuerpo robusto con un color base verdoso volviéndose amarillento hacia el abdomen, tienen una tamaño aproximadamente de 40cm. Los machos son más delgados y más largos que las hembras. Las temperaturas

óptimas para su sobrevivencia es de 26 a 28°C, aunque tolera un rango mayor (Jiménez *et al.*, 2009). Su dieta se compone principalmente de peces, crustáceos, moluscos, invertebrados, insectos y restos de materia vegetal y animal. Su reproducción se lleva a cabo de marzo a octubre. Una vez que está formada la pareja comienza a buscar alguna cueva para realizar la puesta. La eclosión tarda alrededor de 48 horas.

Por otra parte existen zonas agropecuarias ubicadas a lo largo de la Ribera del Río Hondo, siendo el cultivo de la caña de azúcar la actividad agrícola principal (Vázquez, 2007). y los desechos de ingenios azucareros y fábricas, representa un problema de contaminación, donde debido a estas prácticas y dado que el efluente del Río Hondo desemboca en la Bahía de Chetumal, este arrastra consigo todo tipo de sedimentos, nutrientes y sustancias químicas contaminantes que representan un riesgo importante para la vida marina, por su conexión al Mar Caribe y a los sistemas coralinos del Arrecife Mesoamericano (Vázquez, 2007).

Existen estudios que han evidenciado y cuantificado la presencia de contaminación por metales pesados y plaguicidas en la zona del Río Hondo (Álvarez L.M.T. (2002), Díaz y col., (2006)). En estos estudios la presencia de los contaminantes de interés ha sido cuantificada de manera indirecta a través de su medición en muestras de sedimentos y correlacionada con los parámetros fisicoquímicos medidos en la columna de agua. La contaminación por metales pesados afecta también a la vida acuática y provoca acumulación de estos en los tejidos de los peces, tal como fue observado en trabajo realizado por García-Ríos (2001) donde se reportó la acumulación de Cobre y Zinc en el tejido de Bagre (*Ariopsis assimilis*).

El mercurio es uno de los metales con más alto impacto sobre los ecosistemas acuáticos. Este elemento puede aparecer en el ambiente tanto por fenómenos naturales así como también por actividades antropogénicas causando daños irreversibles a la biota acuática. El Metilmercurio es la forma más tóxica del mercurio, la cual es fácilmente bioacumulada y biomagnificada en las cadenas alimenticias. El Metilmercurio en ambientes acuáticos se forma principalmente por biometilación del mercurio depositado en los sedimentos, dado que más del 90% del mercurio esta presente como Metilmercurio en la biota acuática (organismos bentónicos y peces) la principal fuente de exposición humana al Metilmercurio es el consumo de pescado. Por esta razón la evaluación de los niveles de mercurio representa un factor importante no solo desde el punto de vista toxicológico sino también para la evaluación de los impactos potenciales en la salud pública..

Un aspecto importante que se debe considerar en la evaluación sobre la contaminación de un ecosistema son los metales biodisponibles, ya que dichas concentraciones indican la porción de estos que son fácilmente removibles y los cuales van a estar disponibles a la biota. Una de las principales características de los metales en los sistemas costeros, es que los microorganismos pueden almacenar grandes cantidades de metal (bioacumulación) y consecuentemente conducen a un incremento de las concentraciones del metal en niveles tróficos superiores (biomagnificación) por todo lo anterior se vuelve importante conocer y evaluar el comportamiento de los metales en sedimentos y organismos acuáticos. Debido a esto surgió el interés de cuantificar los niveles de Hg en tejido de peces conocidos como mojarra teguayaca y castarrica que son consumidos en la

Ribera del Río Hondo. Adicionalmente se cuantificó la presencia de plomo en los mismos especímenes estudiados.

Objetivos

Objetivo General: Cuantificar los niveles de mercurio y plomo en las especies *Petenia splendida* y *Cichlasoma urophthalmus* en la Ribera del Río Hondo

Objetivos específicos:

1. Medir la concentración de mercurio en tejido de peces mediante espectroscopia de absorción atómica.
2. Cuantificar los niveles de mercurio y plomo en muestras de sedimento del Río Hondo
3. Medir las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos: amonio, fósforo, nitrato y oxígeno Disuelto en la superficie del agua del Río Hondo
4. Realizar un estudio del índice de peligrosidad con los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 2

Materiales y Métodos

2.1 Área de Estudio

La ribera del Río Hondo define la frontera entre México y Belice, el Río Hondo presenta especies ícticas que son aprovechadas por pescadores de la región para consumo humano principalmente por pobladores de la misma región, entre los peces aprovechados por los pobladores se encuentran los conocidos como Tenguayaca, la Castarrica, la mojarra paleta y la Pinta entre otras. En zonas cercanas al Río Hondo se practica la agricultura siendo el cultivo de caña de azúcar el predominante en esas zonas, donde los fertilizantes y los plaguicidas químicos siguen siendo utilizados por los agricultores a pesar de los efectos que estos tienen por descarga por infiltración hacía el Río Hondo. La Figura 2.1 presenta los puntos de muestreo seleccionados para la toma de muestras de sedimento y de la superficie del agua

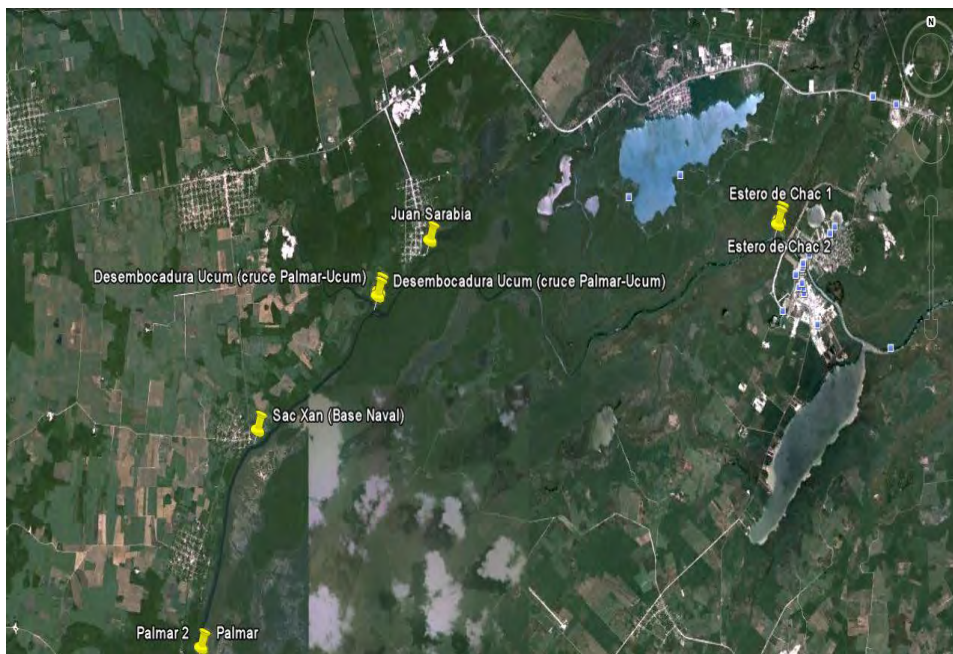


Figura 2.1.- Puntos de muestreos seleccionados.

2.2 Recolección y Tratamiento de Muestras

Se realizaron 4 muestreos. Cada expedición, M1, M2, M3, M4 corresponden a 28/noviembre/10, 22/mayo/11, 25/septiembre/11 y abril del 2013, respectivamente. Se tomaron varias muestras de agua, sedimento y de peces en distintos puntos del Río Hondo. Las especies *Petenia splendida* (Tenguayaca) y *Cichlasoma urophthalmus* (Castarrica) fueron colectadas con ayuda de pescadores de la región en el Río Hondo. Cada pescado fue eviscerado, empacado individualmente en bolsas plásticas, etiquetado y transportado refrigerado hasta el laboratorio. Las muestras para el análisis se obtuvieron del músculo dorsal disectado con un bisturí y analizadas en fresco.

2.3 Determinación de mercurio y plomo

Para extraer el mercurio de las muestras de tejido de peces, estas fueron digeridas con una mezcla de $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-HNO}_3$ 2:1 v/v a reflujo a 110 °C. Las muestras de sedimento fueron digeridas con H_2SO_4 a reflujo a 110 °C y mediante adición de peróxido de hidrógeno al 50%. Para la extracción de plomo en tejido de peces se utilizaron 5.0 g de la muestra, las cuales fueron digeridas con H_2SO_4 a reflujo a 110 °C y adición de peróxido al 50%.

Las muestras de la superficie del agua fueron preparadas de acuerdo con la metodología descrita en Sthandar Methods (1995). La medición del mercurio se realizó con un espectrofotómetro de Absorción Atómica Varian Spectra 220 (USA).

2.4 Determinación de Amonio, Nitrato y Fósforo

El ión amonio (NH_4^+) el ión Nitrato (NO_3^-) y el ión fosfato (PO_4^{2-}) se midieron en la superficie del agua mediante los métodos de Nessler, de reducción de Cadmio y de ácido ascórbico respectivamente en un espectrofotómetro Hach (USA).

El amonio, el nitrato y el fósforo fueron medidos en los puntos de muestreo mostrados en la Figura 2.1. Las muestras fueron tomadas de la superficie del río en los puntos donde se tomaron sedimentos y a una distancia de 30m aproximadamente de la toma de muestra del sedimento.

2.5 Calculo del Índice de Peligrosidad.

El índice de peligrosidad se definió como la relación del nivel de exposición a una sustancia en particular (E) a una dosis de referencia (Rfd). el E para el consumo de mercurio se calculó mediante:

$$E = \frac{C I}{W} \quad (1)$$

Donde C es la concentración promedio de metil mercurio la cual se calculó bajo la suposición que el 90% del mercurio medido en el tejido correspondía a metil mercurio. En la ecuación (1), I es la ingesta diaria de pescado (kg/día) y W es el

peso promedio de una persona adulta (se consideró 70 kg). Se utilizó el valor propuesto por la EPA (Environmental Protection Agency) para el *Rfd* de metilmercurio de $0.1 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Análisis Estadístico

El resultado del análisis para cada muestra se presenta como el promedio de las muestras analizadas por duplicado. El análisis de la varianza de las medias se realizó mediante el método estadístico t de student . El error estándar de la diferencia de las medias se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i \in A} (x_i - x_{Ap})^2 + \sum_{i \in B} (x_i - x_{Bp})^2}{N_A + N_B - 2}} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_B} \right) \quad (2)$$

Donde x_{Ap} y x_{Bp} son los valores promedios medidos para el conjunto de mediciones de la muestra A y B respectivamente, N_A y N_B son los números de puntos para las muestras A y B. La t se calculó mediante:

$$t = \frac{x_{Ap} - x_{Bp}}{SD} \quad (3)$$

El análisis estadístico fue realizado con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$.

CAPÍTULO 3

Resultados

Se realizó un estudio para cuantificar los niveles de mercurio y plomo en muestras de tejido de peces de la especies *Petenia splendida* y *Cichlasoma urophthalmus* en la ribera del Río Hondo ubicado en Chetumal Quintana Roo. Las Figuras 3.1 y 3.2 presentan los resultados de la cuantificación de mercurio en mojarras tenguayaca y mojarras castarrica en los cuatro muestreos realizados en éste estudio. Los valores presentados en la Figuras corresponden a valores promedio de mediciones por duplicado obtenidas en muestras de la especie Tenguayaca (barras en color azul) y muestras de la especie castarrica (barras en color crema). El número de mojarras tenguayaca total (suma de los cuatro muestreos) analizado fue de 13 mojarras, mientras que para las mojarras castarrica fue de 18. La variación en el número de mojarras analizadas se debió a la disponibilidad de especies que se pudieron pescar en los muestreos con ayuda de pescadores de la región. Para el total de las muestras, las concentraciones de mercurio en la muestra analizada de tejido muscular tuvieron un valor promedio de $0.351 \pm 0.142 \text{ mg kg}^{-1}$ (n=31). Mientras que las concentraciones promedio fueron de $0.257 \pm 0.124 \text{ mg kg}^{-1}$ (n=13) para la especie tenguayaca y de $0.419 \pm 0.115 \text{ mg kg}^{-1}$ (n=18) para la

especie castarrica. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas al comparar los promedios de los resultados de mercurio para el total de las muestras de las especies tenguayaca y castarrica ($\alpha = 0.05$, $P = 0.092$).

Para todas las especies recolectadas, la concentración mínima de mercurio fue encontrada en una especie tenguayaca en el muestreo realizado en septiembre (0.070 mg kg^{-1}) y la máxima concentración fue para una especie castarrica recolectada en el muestreo de abril (0.613 mg kg^{-1}).

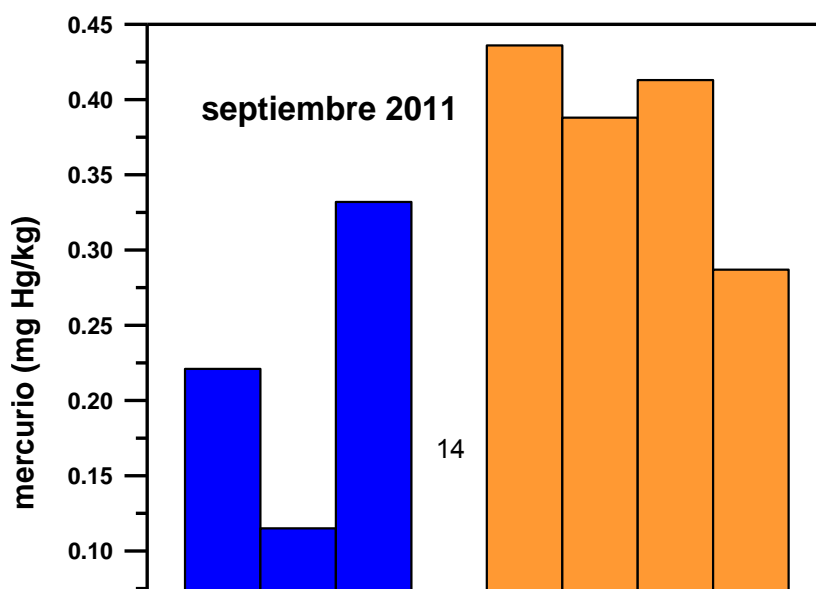
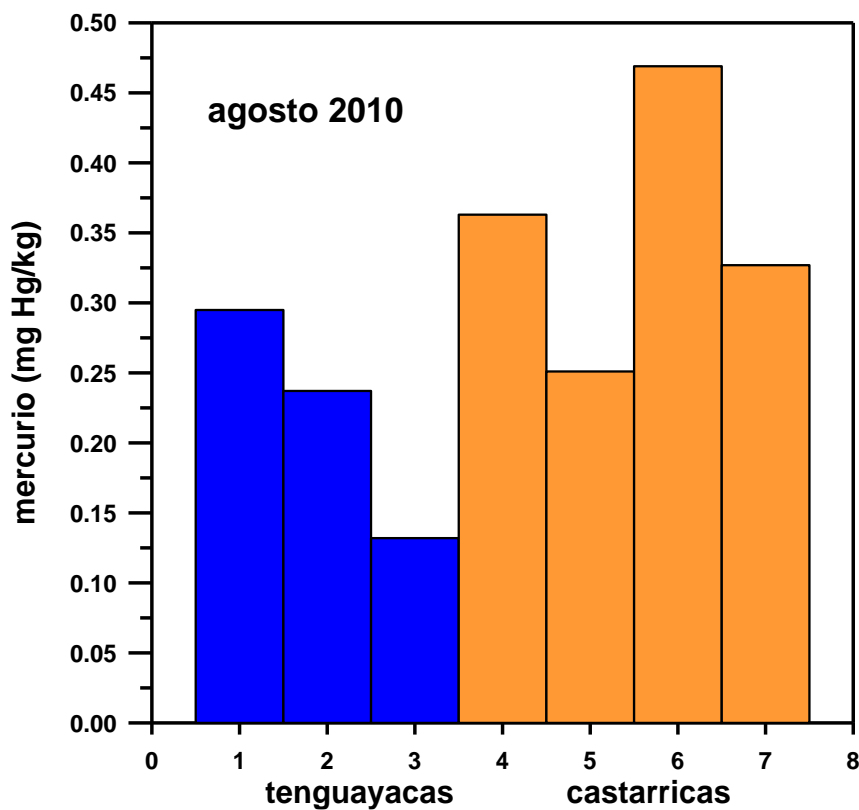


Figura 3.1.- Niveles de mercurio para los muestreos M1 y M2

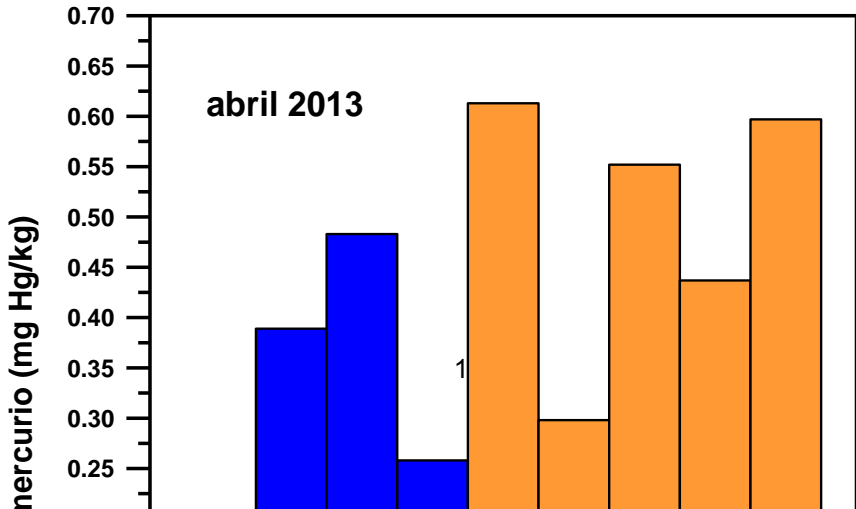
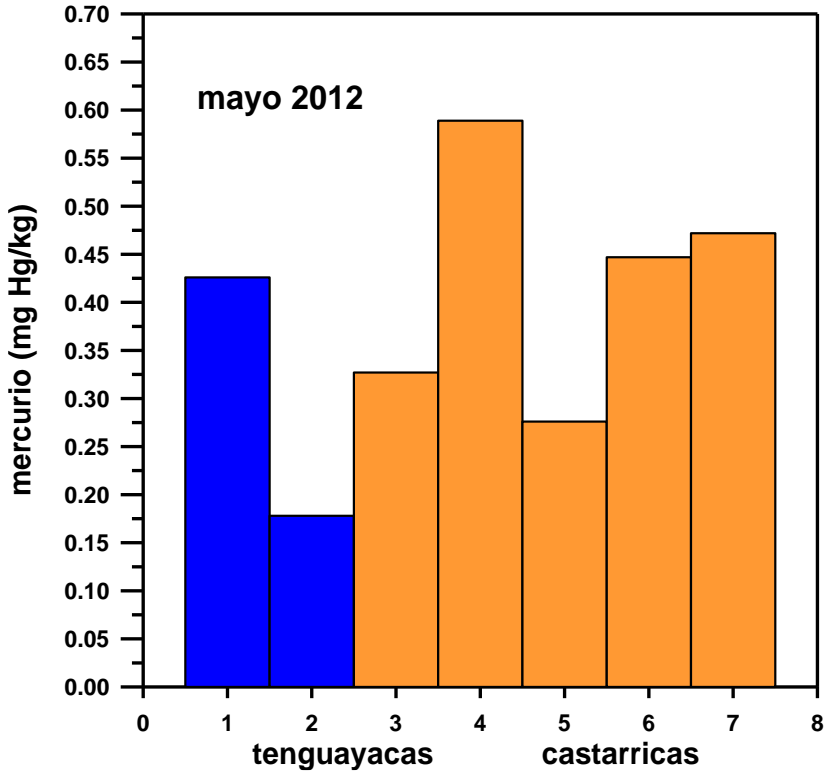


Figura 3.2.- Niveles de mercurio para los muestreos M3 y M4

La Figura 3.3 presenta las concentraciones promedio de mercurio medidas en los cuatro muestreos realizados, como puede observarse las concentraciones promedio de mercurio fueron más altas en la especie castarrica en los cuatro muestreos con respecto a la especie tenguayaca. La concentración promedio para la especie castarrica presentó un incremento en los últimos tres muestreos. Se puede observar también que las concentraciones más elevadas de mercurio para las dos especies se obtuvieron en el muestreo M4 (abril 2013). Las figuras 3.4 (A) y (B) muestran las fotografías de una mojarra tenguayaca y una mojarra castarrica recolectadas en el muestreo de abril (M4) respectivamente.

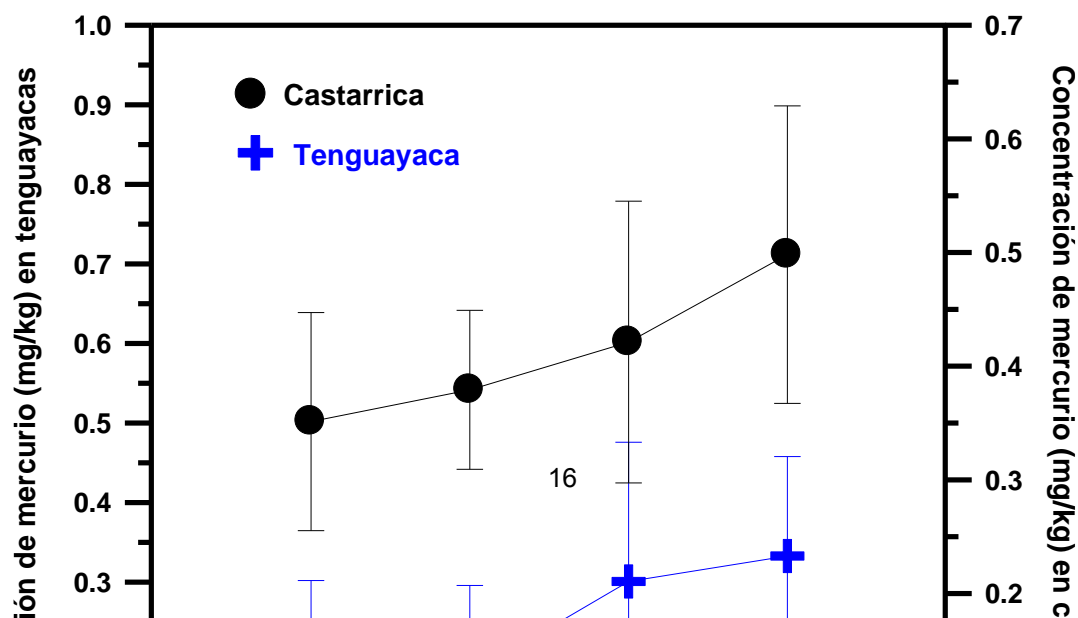


Figura 3.3. Concentraciones promedio de mercurio promedio en tenguayaca y castarrica medidas en los cuatro muestreos.



3.4 (A).- Fotografía de una mojarra tenguayaca pescada en la ribera del Río Hondo



Figura 3.4 (B).- Fotografía de una mojarra castarrica pescada en la ribera del Río Hondo

Las Figuras 3.5 y 3.6 presentan los valores del nivel de exposición al mercurio (E) calculados para las especies Tenguayaca y Castarrica respectivamente en función de una ingesta diaria de pescado. Se puede observar que para la especie tenguayaca el valor de Rfd propuesto por la EPA se presenta para un ingesta de pescado de 32 gramos por día, mientras que para la especie castarrica se presenta para una ingesta de 21 gramos por día.

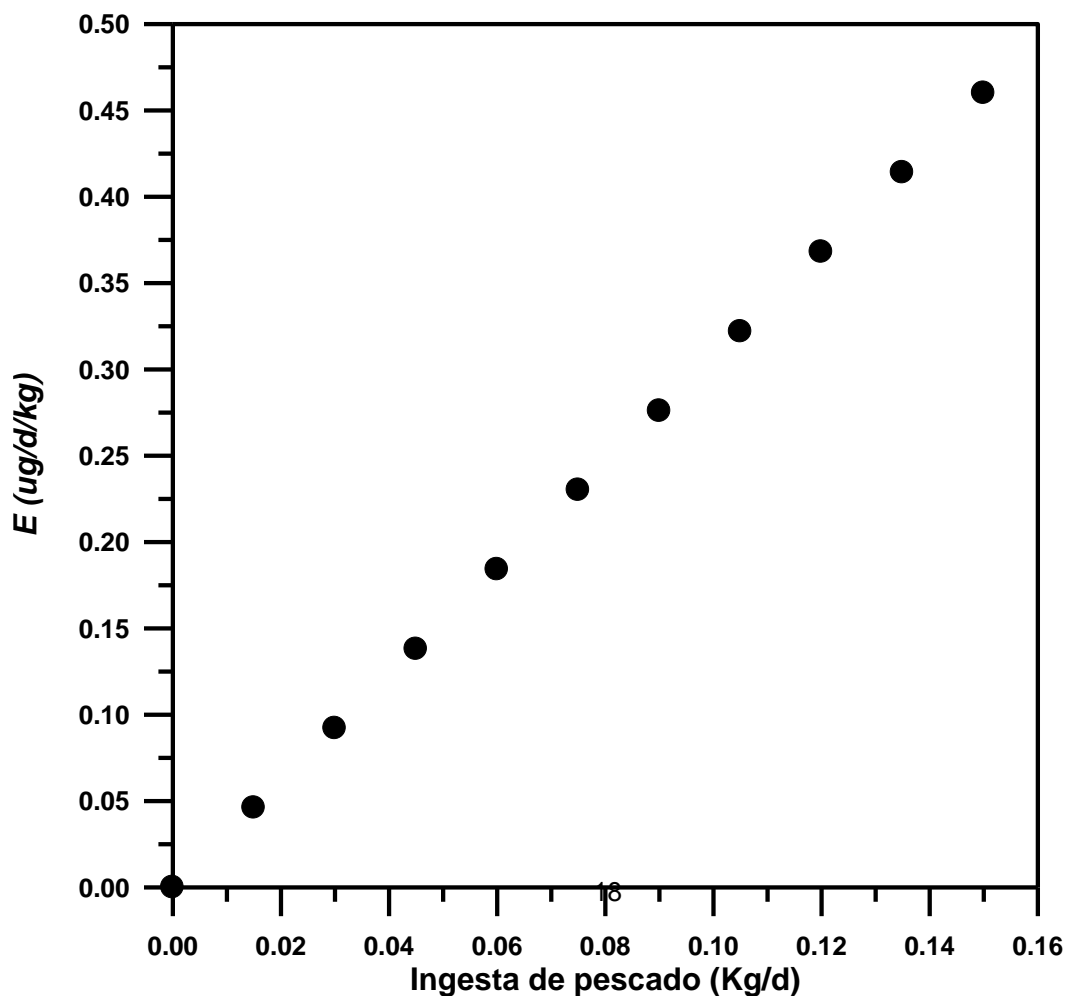


Figura 3.5.- Niveles de exposición de mercurio para la especie Tenguayaca.

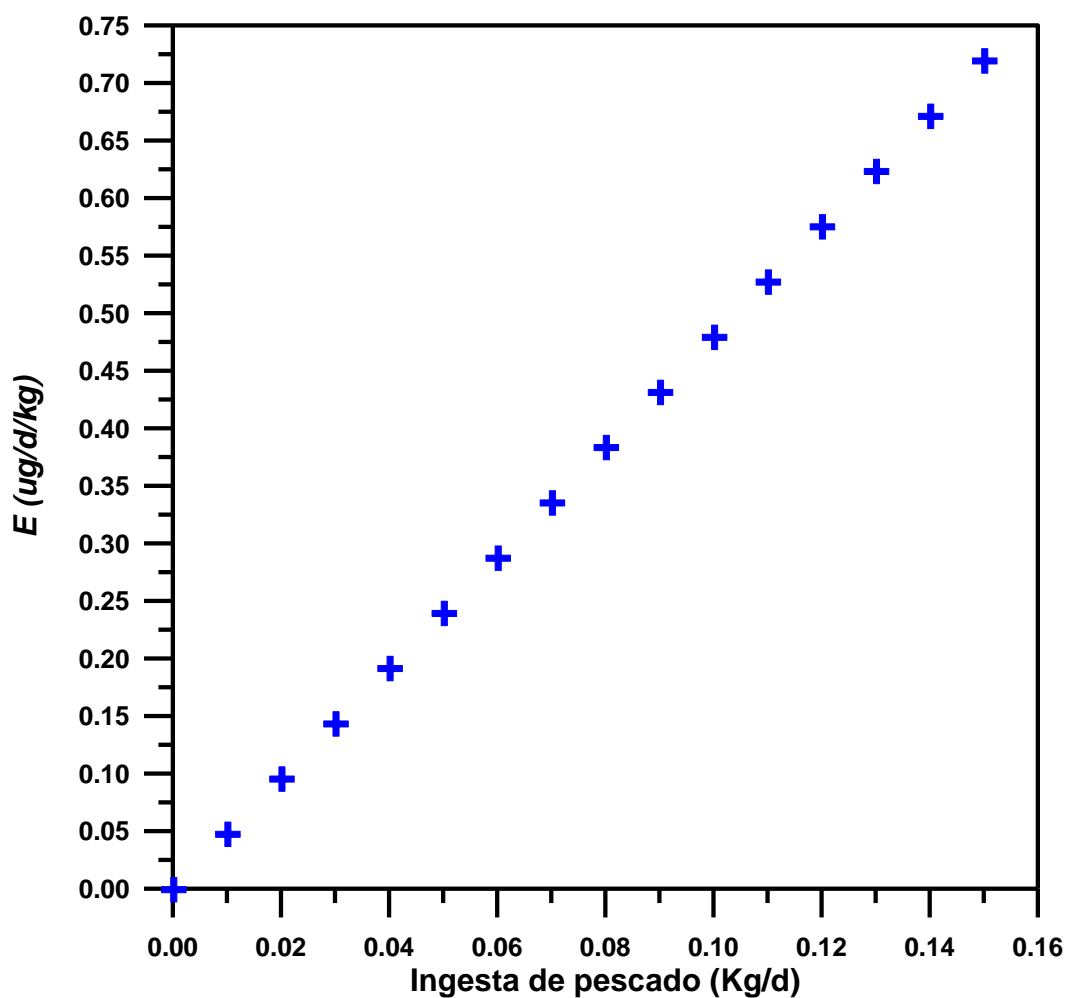


Figura 3.6.- Niveles de exposición de mercurio para la especie Castarrica

En adición se realizaron determinaciones de mercurio en muestras de sedimento. La Tabla 3.1 presenta las concentraciones medidas de mercurio en muestras de sedimento en los puntos mostrados en la Figura 2.1. Estos resultados confirman la presencia de mercurio la cual puede ser ocasionada por actividades antropogénicas en la zona. La concentración de mercurio más alta se presentó en el punto 3 en el muestreo realizado en abril, mientras que la concentración de mercurio en sedimento más baja se presentó en el punto 4 del muestreo realizado en septiembre.

Fecha de Muestreo	Agosto 2010	Septiembre 2011	Mayo 2012	Abril 2013
Punto de muestreo				
1	0.224	0.096	0.198	0.268
2	0.163	0.129	0.282	0.285
3	0.261	0.142	0.247	0.584
4	0.187	0.084	0.396	0.477
5	0.286	0.185	0.315	0.458
6	0.383	0.214	0.413	0.514

Tabla 3.1 Concentraciones de mercurio (mg kg⁻¹) en sedimentos del Río Hondo

La Figura 3.7 muestra los valores de la concentración promedio de mercurio en sedimento. Estos valores corresponden al promedio de los valores medidos en los seis puntos analizados en la Ribera del Río Hondo en cada muestreo. Se puede observar que el valor más alto de la concentración promedio de mercurio se presentó en el muestreo M4 mientras que el valor promedio más bajo se presentó en el muestreo M2.

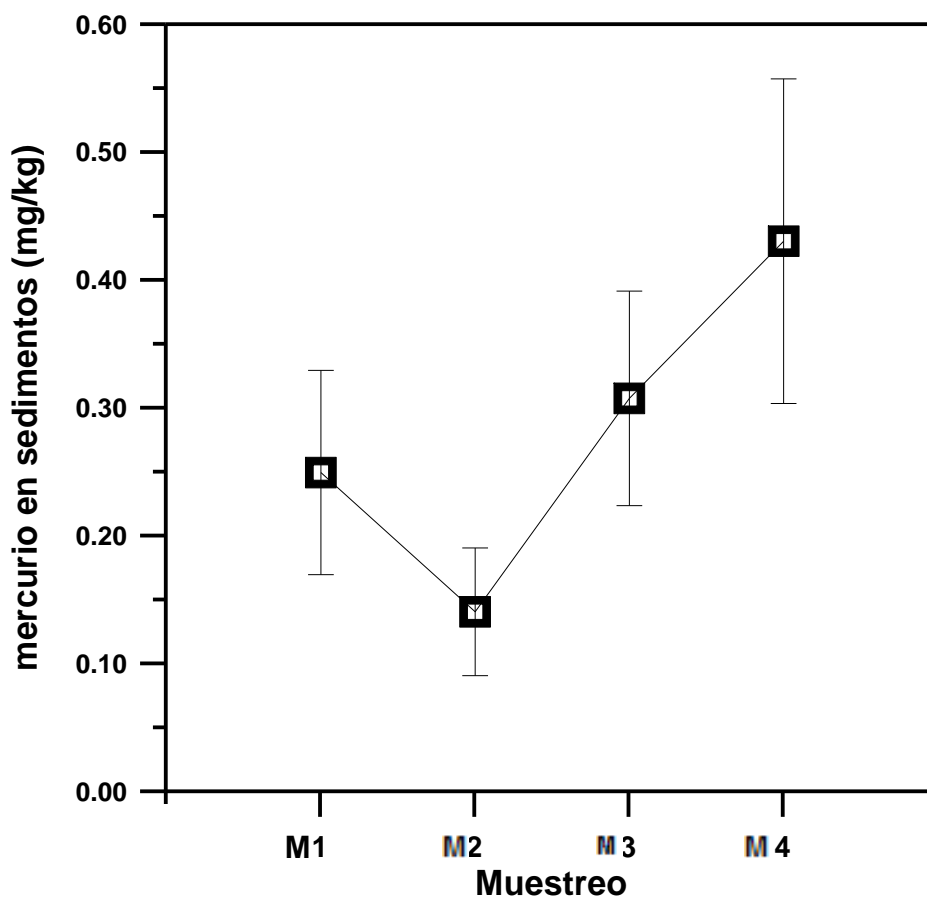
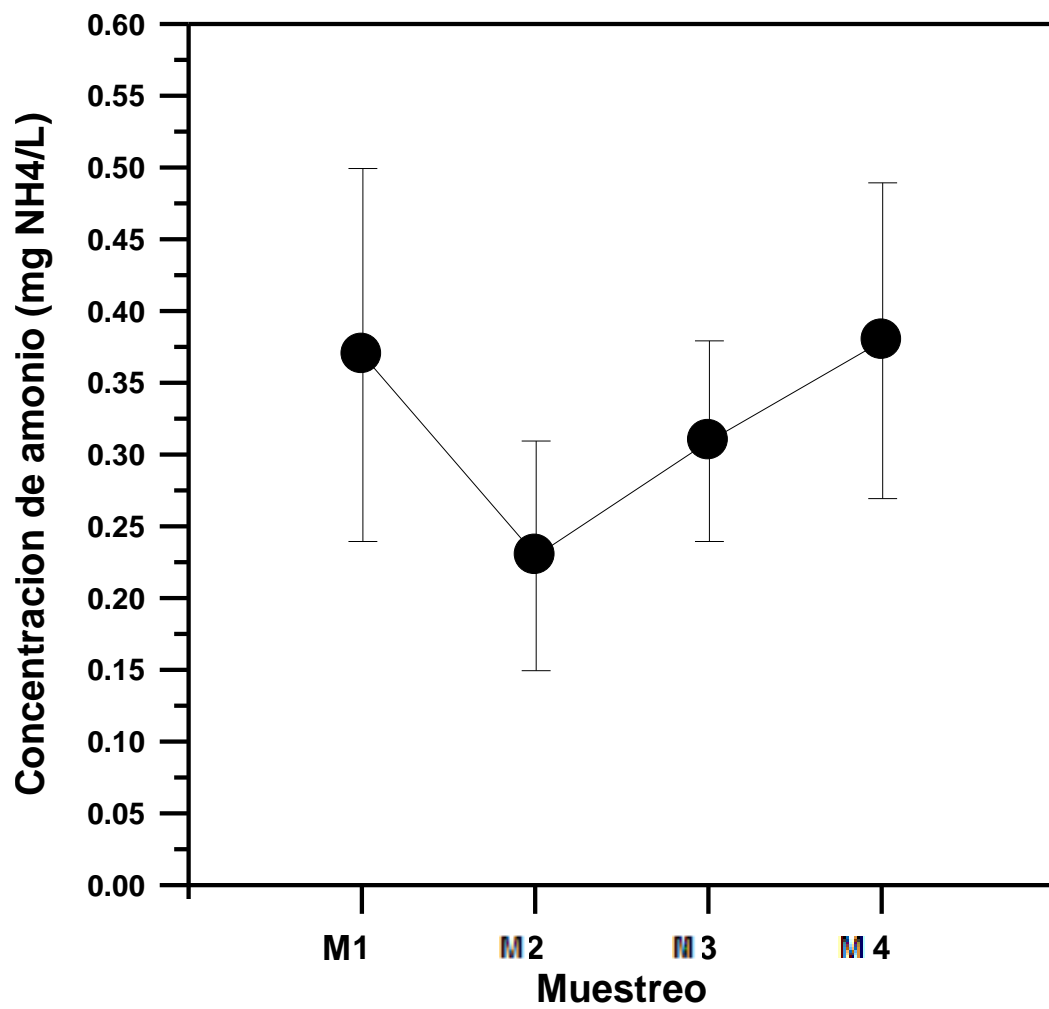


Figura 3.7. Concentraciones promedio de mercurio en muestras de sedimento

La Tabla 3.2 presenta los valores de la medición de amonio en muestras de agua de la ribera del Río Hondo.

Fecha de Muestreo	Agosto 2010	Septiembre 2011	Mayo 2012	Abril 2013
Punto de muestreo				
1	0.21	0.19	0.23	0.28
2	0.24	0.12	0.29	0.24
3	0.56	0.26	0.36	0.42
4	0.43	0.22	0.32	0.37
5	0.38	0.34	0.25	0.45
6	0.45	0.26	0.41	0.54

Tabla 3.2.- Concentraciones de Amonio medidas en la superficie del agua.



CAPÍTULO 4

DISCUSIÓN

Las concentraciones de mercurio promedio más altas fueron encontradas en los muestreos M3 y M4 (mayo y abril). Estas concentraciones pueden ser debidas a que en esos meses no se presentaron lluvias recurrentes y probablemente el mercurio se concentra más cuando el nivel del agua disminuye (efecto de evaporación). Actualmente no existen estudios realizados en la Ribera del Río Hondo que correlacionen el contenido de mercurio en peces con la estación, Hylander et, al. (2000) reportaron la variación estacional de la concentración de mercurio en peces de la zona de Alto Pantanal en Brasil. El promedio que hallaron fue de 0.202 mg kg^{-1} en época de lluvias y de 0.410 mg kg^{-1} en época seca.

Los niveles promedio de concentración de mercurio en las muestras de peces analizadas en éste trabajo no excedieron el límite para consumo humano establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de $0.5 \text{ mg Hg kg}^{-1}$. Sin embargo considerando el valor propuesto por la EPA (Environmental Protection Agency) para el *Rfd* de $0.1 \mu\text{g kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ y con los valores mostrados en las Figuras 3.5 y 3.6 las evaluaciones del riesgo basadas en el índice de peligrosidad sugieren que el consumo de 32 gramos de pescado de la especie Tenguayaca por día y de 21 gramos de la especie Castarrica por día en la población humana podría incrementar el riesgo de envenenamiento por mercurio en la población local. Cabe

mencionar que el análisis de riesgo realizado en éste trabajo consideró una persona adulta con un peso promedio de 70 kg. Sin embargo existe una población vulnerable que incluye mujeres embarazadas, menores de 15 años y consumidores frecuentes para los cuales la OMS ha recomendado un límite máximo permisible de mercurio en peces de 0.2 mg kg⁻¹. Sobre la base de esta recomendación el consumo de castarricas y tenguayacas representa un problema de riesgo a la salud de esa población vulnerable.

En Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Fármacos (*US Food and Drug Administration*, FDA) establece un límite de 1.0 partes por millón (ppm) de metilmercurio en peces marinos y de agua dulce como nivel para emprender medidas, mientras que en Canadá el límite de contenido total de mercurio para la mayoría de las especies comerciales de peces es de 0.5 ppm, con una norma de 1.0 ppm aplicada a ciertas especies depredadoras. Todas las especies de peces sujetas a la norma de 1.0 ppm, también están incluidas en las recomendaciones sobre consumo de pescado. El nivel de acción de la FDA de 1.0 µg/g de peso húmedo para el metilmercurio en peces se aplica con objeto de regular la venta de pescado para consumo humano. Recientemente, la Agencia de Protección Ambiental (*US Environmental Protection Agency*, EPA) estableció una concentración máxima de metilmercurio de 0.30 µg/g de peso húmedo como criterio aplicable a los residuos de tejidos de peces para proteger la salud humana.

Existen diversos estudios en los cuales se ha reportado la contaminación por mercurio en la zona. Rojas y Morales (2002) realizaron un estudio para cuantificar las concentraciones de mercurio en hueso y sangre de 18 manatís de la bahía de Chetumal hallando presencia de mercurio (Hg) de entre 0.1 a 3.2 µg g⁻¹ de peso húmedo en huesos. No obstante los autores indican también que no se sabe con

certeza el origen de éste elemento en la región y mencionan que existe la posibilidad de que el uso de plaguicidas a base de metil mercuriato o del uso de algún preservador de la madera hace algunos años pudieran ser las causas de la presencia de mercurio en la zona

Los desechos orgánicos e inorgánicos de los extensos cultivos de caña aledaños a las planicies del río son vertidos directamente al Río Hondo (Ortiz–Hernández y Sáenz–Morales, 1999), y posteriormente son transportados y depositados dentro de la bahía. Aunque se han realizado diversos estudios en la Bahía de Chetumal referentes a la sedimentología (De Jesús–Navarrete *et al.*, 2000), la distribución de metales (García–Ríos y Gold–Bouchot, 2003; Díaz–López *et al.*, 2006) y de hidrocarburos aromáticos (Álvarez–Legorretay Sáenz–Morales, 2005), no se ha establecido la dirección del transporte y los sitios de depósito de los compuestos químicos adsorbidos y asociados a las partículas del sedimento.

Otro estudio similar se realizó para determinar la especiación de metales pesados en sedimentos de la Bahía de Chetumal y su acumulación en el tejido muscular de bagres *Ariopsis assimilis* (García Ríos E. Virginia y Gerardo Gold Bouchot, 2002).

Los resultados fueron concentraciones relativamente altas de Ni en el tejido muscular de los bagres. Otros metales pesados analizados potencialmente tóxicos, el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), observaron cantidades relativamente bajas en los bagres y aunque el Pb fue abundante en los sedimentos, solo una pequeña cantidad estaba presente en las fracciones biodisponibles (alrededor del 15 %).

Como se mencionó anteriormente el crecimiento urbano en las márgenes de la zona, las descargas de aguas residuales, la deforestación, la actividad agrícola las industrias ubicadas en las márgenes del río hondo y los productos químicos utilizados en la actividad agropecuaria amenazan la biodiversidad de la zona. La

Figura 6 muestra las concentraciones de amonio medidas en la superficie del agua en los puntos de muestreo indicados en la sección de materiales y métodos. Estos niveles altos de amonio observados pueden ser debido a las actividades agropecuarias en zonas aledañas. De acuerdo con el estudio realizado por Vázquez y Mejía (2008) agricultores de Corozal y Orange Walk en Belice siguen utilizando compuestos como el Paraquat el cual es un herbicida cuaternario de amonio altamente tóxico, el Glifosato, Diuron y Picloran entre otros compuestos plaguicidas y herbicidas cuya composición contiene Urea y amonio. Los resultados presentados en la Figura 6 confirman contaminación de amonio en el Río Hondo.

CONCLUSIONES

Se determinaron los niveles de mercurio en 14 muestras de peces comestibles de la Ribera del Río Hondo los resultados mostraron la presencia de mercurio en las muestras analizadas, mientras que no se detectó plomo en ninguna de las muestras estudiadas. Las mediciones de mercurio en sedimento confirmaron la presencia del

contaminante en la zona estudiada. Los niveles de mercurio hallados en los peces no excedieron el límite establecido para consumo humano establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 0.5 mg Hg kg⁻¹ de peso húmedo). Las evaluaciones del riesgo basadas en el índice de peligrosidad sugieren que el consumo de 0.032 kg de pescado de la especie Tenguayaca por día y de 0.021 kg de la especie Castarrica por día en la población humana podrían incrementar el riesgo de envenenamiento por mercurio en la población local.

Se hallaron concentraciones relativamente altas de ión amonio las cuales podría ser debidas a la utilización de herbicidas y plaguicidas en actividades agropecuarias aledañas a la zona.

Es necesario un estudio más amplio de la contaminación de mercurio en peces comestibles en la Ribera del Río Hondo contemplando un mayor número de muestras y más especies para realizar un análisis estadístico más exacto, por lo cual se propondrá en un futuro un proyecto que contemple más recursos para realizar un estudio a mayor escala.

Bibliografía

Álvarez C.A., Marquez-Couturier G., Arias R.L., Contreras S.M., Uscanga A., Perales N., Moyano F.J., Hernández R., Civera R., Isidro I., Almeyda J.A., Tovar D., Gutierrez J. N., Arevalo L.M., Treviño L. y Morales S. (2008) Avances en la fisiología digestiva y nutritiva de la mojarra Tenguayaca *Petenia Splendida*. *Avances en Nutrición Acuícola*. **9**, 135-235.

- Álvarez del Villar(1970) Peces Mexicanos Claves, Secretaría de Industria y comercio, Instituto Nacional de Investigaciones Biológico Pesqueras. Comisión Nacional Consultiva de Pesca. México D.F. pp 166.
- Álvarez–Legorreta, T., Sáenz–Morales, R., (2005), Hidrocarburos aromáticos policíclicos en sedimentos de la Bahía de Chetumal, *en* Botello, A. V., Rendón–von Osten, X., Gold–Bouchot, G., Agraz–Hernández, C. (eds.), Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias: Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto Nacional de Ecología, 2da Edición, 299–310.
- Caro C., Mendoza A. y Sánchez M (1994) Caracterización del medio ambiente de Petenia Splendida en lagunas del sur de Quintana Roo. En memorias del II seminario de peces nativos ccon uso potencial en acuicultura, del 23 al 26 de mayo, Cárdenas Tabasco, México.
- García-Ríos, V. and Gold-Bouchot, G. (2003). Trace Metals in Sediments from Bahia deChetumal, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 70: 1228-1234.
- Díaz–López, C., Carrión–Jiménez, J.M., González–Bucio, J.L. (2006), Estudio de la contam inación por Hg, Pb, Cd y Zn en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México: Revista Sociedad Química del Perú, 72, 19–31.
- Hylander L., Pinto F., Guimaraes J., Olivera L. Castro E. (2000) Fish mercury concentrations in the Alto Pantanal, Brazil: influence of season and wáter parameters. *Sci. Total Environ.* 261, 9-20.
- Jiménez-Martínez L., Alvarez-González C., Contreras W., Márquez G., Arias L. y Almeida J. (2009) Evaluation of Larval Growth and Survival in Mexican Mojarra, *Cichlasoma urophthalmus*, and Bay Snook, *Petenia splendida*, Under Different Initial Stocking Densities. *J. of the World Aquaculture Society*, **40** (6): 753-761.
- Miller R. R. (1992) Aquatic biota of México, Central America and the West Indies. In S.H. Hulbert and Villalobos-Figueroa (eds), EUA. 468-501.
- Miller R. R., Minckley W., y Norris S. (2005) Freshwater fishes of México. *Aquaculture* **153**: 301-313.

- Ortiz Hernández, M.C., Sáenz Morales, R., (1997) Detergents and orthophosphates inputs from urban discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, México: Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, **59**, 486–491.
- Perez-Sanchez E. Y Páramo-Delgadillo S (2008) The culture of cichlids of southeastern Mexico. Aquaculture Research, **39** (7) : 777-783
- Rojas Mingüer A., Morales Vela B. 2002. Metales en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus manatus*) de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. En: Rosado-May F.J., Romero Mayo R., De Jesús Navarrete A. (Eds.). 2002. Contribuciones de la ciencia al manejo costero integrado de la bahía de Chetumal y su área de influencia. Serie Bahía de Chetumal No. 2. Universidad de Quintana Roo. P. 133-138.
- Vázquez R. y Mejía M (2008) Identificación de las actuales prácticas de manejo del cultivo de caña de azúcar y determinación de su impacto ambiental en Orange Walk y Corozal. (*Belice*), p 1-57.
- Vázquez Rigoberto y Mejía Mauricio. Identificación de las actuales prácticas de manejo del cultivo de caña de azúcar y determinación de su impacto ambiental en Orange walk y Corozal (Belice). (2008)1-57
- Villanueva F.S y Botello A.V. (2005) Vigilancia y presencia de metales tóxicos en la laguna el Yucateco, Tabasco México; p. 407-430. In: Botello A.V., Rendon Osten y Agraz-Hernández (eds). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias. 2a. edición, UNAM, Instituto Nacional de Ecología. 695 p.