



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN PECES
Ctenolucius Hujeta DE LA SABANA DE
CHETUMAL, QUINTANA ROO**

TESIS
PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTA
FERNANDO ARAFAT CANO GODOY

DIRECTOR DE TESIS
Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO



ASESORES
DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ
DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS
M.C. JOSÉ MARTÍN RIVERO RODRÍGUEZ
DR. JOSÉ ALFONZO CANCHE UH



CHETUMAL QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2015



UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO
DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TRABAJO DE TESIS BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ
DEL PROGRAMA DE LICENCIATURA Y APROBADA COMO
REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO AMBIENTAL

COMITÉ DE TESIS

DIRECTOR:


Q.F.B. JOSÉ LUIS GONZÁLEZ BUCIO

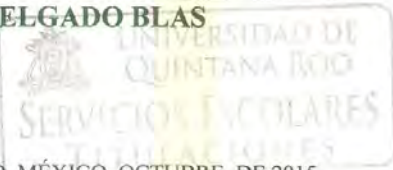
ASESOR:


DR. JOSÉ MANUEL CARRIÓN JIMÉNEZ




DR. VÍCTOR HUGO DELGADO BLAS

CHETUMAL, QUINTANA ROO, MÉXICO, OCTUBRE DE 2015.



**Este trabajo fue financiado en la Convocatoria 2014 "Apoyo a la Titulación"
de la División de Ciencias e Ingeniería con fondos del PIFI.**

Contenido

Contenido	5
Resumen:	8
1.0 Introducción	9
1.1 Descripción del área de estudio.	11
1.2 Antecedentes.....	11
1.3 Descripción del problema.	12
1.4 Objetivo general.	13
1.4.1 Objetivos específicos.....	13
1.5 Hipótesis.....	13
1.6 Justificación.....	13
1.7 Fundamentos teóricos-conceptuales.....	14
1.7.1 Descripción de la especie.....	14
1.7.2 Hábitat y distribución.	15
1.7.3 Coloración.	15
1.7.4 Edad, tamaño, longevidad.....	15
1.7.5 Tolerancias físicas.....	15
1.7.5.1 Temperatura.....	15
1.7.5.2 pH.....	16
1.7.5.3 Dureza.....	16
1.7.6 Reproducción	16
1.7.7 Alimentación.....	17
1.7.8 Comportamiento	17
1.8 Metales pesados	18
1.9 Factores bióticos y abióticos	18
1.9.1 Los factores bióticos que influyen en la toxicidad de los metales:.....	18
1.9.2 Los factores abióticos que influyen en la toxicidad de los metales son: ...	19
1.10 Bioacumulación.....	21
1.10.1 Bioconcentración.....	22

1.10.2 Factor de Bioacumulación	23
1.10.3 Factor de Bioconcentración	23
1.10.4 Biomagnificación.	23
1.11 Fuentes de emisión y generación de Hg.	24
1.11.1 Concentración.	25
1.11.2 Metilmercurio (CH ₃ Hg).....	25
2.0 Metodología.....	27
2.1 Material.....	27
2.1.1 Reactivos.....	28
2.2 Diseño de muestreo	29
2.2.1 Método de captura.....	31
2.2.3 Disección	33
2.2.4 Digestión y análisis de las muestras.....	33
2.2.5 Cálculo del índice de peligrosidad	35
3.0 Resultados	36
4.0 Discusión.....	47
5.0 Conclusiones.....	48
6.0 Recomendaciones.....	50
7.0 Bibliografía	51

Resumen:

En este proyecto se determinaron las concentraciones de mercurio (Hg) en peces de la especie *Ctenolucius hujeta*, en la laguna ubicada al norte de Chetumal, popularmente conocida como La Sabana, ya que no se cuenta con información al respecto sobre la contaminación de metales pesados y en particular del metal mercurio (Hg) en *Ctenolucius hujeta* en el área de estudio, esta especie barracuda de agua dulce es importante estudiarla ya que se utiliza para la dieta humana y consumida por algunas personas de la ciudad.

1.0 Introducción

Una laguna se caracteriza por ser un espacio natural que acumula agua, en general dulce, también puede ser salobre aunque muy rara vez y cuyas dimensiones son menores que las de un lago. La mayor diferencia entre estas dos formaciones naturales se encuentra en la profundidad de sus aguas. La profundidad varía según el grado de colmatación y las diferencias ambientales.

La sabana es un área de laguna ubicada al norte de la ciudad de Chetumal justo detrás de la colonia nuevo progreso, tiene una extensión casi de 12 kilómetros, aunque su ancho es variable.

La contaminación afecta esta laguna donde mucha gente pesca para comer y vender. Se pueden observar desechos de todo tipo producidos por los vecinos de las colonias cercanas, tales desechos son originados clandestinamente, además se conocen descargas de aguas mal tratadas de la planta de tratamiento centenario ubicada a las orillas de dicha laguna.

Algunas de las especies peces que habitan la laguna pueden bioacumular algunos compuestos tóxicos, tales como sales orgánicas de mercurio entre otros, tal es el caso de la especie *Ctenolucius hujeta*.

Ctenolucius hujeta también conocida como Barracuda de agua dulce. Aguja, Agujeta, Agujeto, Agujón, Carácido-caimán. En inglés se le denomina "Hujeta", "Gar characin" o "Silver Pike Characin". Es un pez del orden de los Characiformes y familia Ctenoluciidae, se le puede encontrar en lagunas y

zonas tranquilas de los ríos entre vegetación. Se encuentra distribuida en América del sur y central: Cuencas de los ríos Magdalena y Sinú (Colombia norteña, en ríos como el Atrato, Samaná y Miel), cursos que drenan en Lago de Maracaibo, en el noroeste de Venezuela (ríos Motata, Socuy, San Juan, San Pedro, Machango, Palmar, Apón, Limón, etc. así como en el lago Tule); Panamá (ríos Seteganti, Chucunaque y Membrillo, entre otros); Guyana (ríos Essequibo, Mazaruni y Cuyuni) principalmente. Son peces carnívoros depredadores con un comportamiento rapaz. Posee un cuerpo alargado y levemente comprimido de color plateado mientras que las aletas son transparentes. La cola tiene un punto negro en la base del pedúnculo caudal. También puede variar su color del oro al iridiscente azul dependiendo de la iluminación. Peces con una boca muy alargada y delgada llena de afilados dientes como agujas. La cola se bifurca. La quijada superior es levemente más larga que la inferior.

El mercurio (Hg) es un metal pesado líquido e inodoro se encuentra principalmente como sales de mercurio o como mercurio orgánico el cual es un compuesto muy tóxico, principalmente el dimetilmercurio. Algunas actividades humanas liberan mercurio en el agua, tales como la aplicación de fertilizantes en la agricultura y los vertidos de aguas residuales. En ambos casos es arrojado a las fuentes de agua provocando su contaminación. No obstante, el problema se hace delicado debido a que el mercurio metálico, por acción bacteriana es convertido en mercurio orgánico, que es captado por el fitoplancton y zooplancton consumido por los peces y después por el hombre (Amílcar Muñoz, 2008).

La concentración de mercurio en el cuerpo debido a la ingesta de alimentos que lo contienen, tiende a acumularse. Ocasionando graves daños en el sistema nervioso central generando lesiones en órganos como hígado,

riñones y se le puede encontrar también a nivel de la piel, pelos, glándulas salivales, intestino y testículos, además de generar alucinaciones, delirios, cegueras, convulsiones, trastornos neurológicos y hasta la muerte (Xavier Gaona Martínez, 2004).

1.1 Descripción del área de estudio.

Cuerpo de agua popularmente conocida como La Sabana, ubicada al norte de Chetumal en el Estado de Quintana Roo, al Sureste de la Península de Yucatán en México y colinda con las colonias de Nuevo Progreso, Los Monos y Lagunitas, tiene una extensión cercana a los 12 kilómetros aunque su ancho es variable.

1.2 Antecedentes.

No se ha realizado ningún estudio sobre metales pesados en la zona, se encontraron trabajos realizados con enfoques diferentes. Estos se resumen a continuación:

- El instituto de investigación del agua y salud, realiza un estudio en torno a la afectación a los humedales que rodean la ciudad de Chetumal por los asentamientos irregulares que se están dando en esta parte de la urbe capitalina, revelado por el director de desarrollo urbano y medio ambiente, Luis Manuel Paz Requena.
- Se han realizado trabajos conjuntos entre instituciones oficiales sobre la contaminación por descargas de aguas residuales

provenientes de la ciudad de Chetumal (Ortíz-Hernández y Sáenz-Morales, 1996).

- Rojas et al. (2002) realizaron estudios de niveles de concentración de metales pesados en hueso y sangre de manatíes (*Trichechus manatus*) de la Bahía de Chetumal y río Hondo en el cual se hallaron 14 metales en huesos de manatíes de la Bahía, las concentraciones de Ni, Cu, Cd, Pb y Hg fueron superiores a las reportadas en otros mamíferos marinos. En las tesis de la Ing. Ana María Peñaloza Sánchez (2006), Ing. Aglayde Ojeda Calderón (2006) y el Ing. Josué Eduardo TahEuan (2009), han determinado metales pesados en agua, sedimentos y organismos (mejillones, pescado, algas y mangle) de la Bahía Chetumal y Río Hondo.

1.3 Descripción del problema.

La barracuda de agua dulce es una especie que no ha sido estudiada en sus hábitos de distribución y población en los humedales ríos, lagunas y sabanas de Chetumal. No hay ninguna información sobre la presencia de metales en los peces de la laguna “la sabana” por lo que los datos que generados en esta investigación podrán ser de utilidad como base para investigaciones posteriores por parte de instituciones y centros de investigaciones. También, para saber la calidad de la salud ambiental de la laguna. Además esta laguna es de gran importancia ya que tienen una alta producción pesquera, filtra el agua de manera natural, es una barrera contra huracanes, y nos ayuda a controlar las inundaciones y erosiones.

1.4 Objetivo general.

- Determinación de Hg en peces de la especie *Ctenolucius hujeta*.

1.4.1 Objetivos específicos.

- Detectar y cuantificar mercurio en los tejidos de los peces de la especie *Ctenolucius hujeta*.
- Determinar la relación que existe entre la concentración de mercurio y la longitud total de los peces.
- Calcular el índice de peligrosidad para mercurio de los resultados obtenidos en el tejido de los peces.

1.5 Hipótesis.

El comportamiento de la descarga de aguas residuales vertidas en algunos puntos de la zona del Humedal la Sabana, permite pronosticar la existencia de contaminación por Hg en esta zona, la contaminación por mercurio puede tener graves consecuencias para el sector pesquero y para el cuerpo de agua.

1.6 Justificación.

La descarga de aguas residuales a este cuerpo de agua proveniente de la planta de tratamiento “Centenario” es el principal factor de contaminación sobre este cuerpo de agua.

La importancia de este cuerpo de agua como reservorios de diversidad biológica. Poseen un importantísimo valor cultural. Tiene, también, un importante valor económico por los numerosos productos que puede brindar como lo son los peces tropicales de agua dulce, que pueden ser comercializados. En el lugar se practica la pesca recreativa y para consumo humano.

Los productos de las lagunas, sean estos bienes o servicios, pueden aportar distintas herramientas para avanzar en la mejora de la calidad de vida. Una posible solución sería el ecoturismo, como producto de la laguna, puede brindar a las comunidades que lo habitan, y en forma gradual, medios económicos bajo criterios de uso sustentable.

1.7 Fundamentos teóricos-conceptuales.

Ctenolucius hujeta.

1.7.1 Descripción de la especie.

Ctenolucius hujeta es una especie de peces de la familia *Ctenolucidae* en el orden de los Characiformes. Los machos pueden llegar alcanzar los 22.8 cm de longitud total, son de color plateado y alargados llegan a tener un número de vértebras que va desde 42 hasta 46.

Es un pez predador de pequeños peces, come insectos voladores. Y es un pez nocturno. Nada en grupos y le gusta saltar.

Es un pez comestible, pero cuando es pequeño lo venden como ornamental (Ricardo Reis, 2004).

1.7.2 Hábitat y distribución.

Es un pez de agua dulce y de clima tropical Se encuentran en Sur y Centro América principalmente en cuencas de los ríos Magdalena y Sinú (norte de Colombia) y ríos de la cuenca del lago Maracaibo (noroeste de Venezuela).

1.7.3 Coloración.

El color del cuerpo es plata mientras que las aletas son transparentes. La cola tiene un punto negro en la base del pedúnculo caudal. También puede variar su color del oro al azul dependiendo de la iluminación.

Se distingue de la especie similar *Ctenolucius beani* por que este presenta un cuerpo con diferente pigmentación, así como distinto número de vértebras (45-48), menor anchura del pedúnculo caudal y el número de escamas de la línea lateral.

1.7.4 Edad, tamaño, longevidad.

Ctenolucius hujeta pueden llegar alcanzar los 22,8 cm de longitud total y puede llegar a vivir hasta 8 años.

1.7.5 Tolerancias físicas.

1.7.5.1 Temperatura.

La temperatura óptima para el buen desarrollo de esta especie es de 22 hasta los 26 grados centígrados en agua dulce.

1.7.5.2 pH

Vive en aguas de pH 6.5 a 7.6.

1.7.5.3 Dureza.

Las condiciones de dureza para su óptimo desarrollo de esta especie van desde 18 a 268 ppm.

1.7.6 Reproducción

Los machos son generalmente más pequeños y más delgados, con una aleta anal más grande, que tiene un borde raído. La aleta anal de las hembras es más pequeña y tiene un borde recto. Las hembras durante la estación de freza tienen un vientre más lleno.

Se reproducen todo el año. Ponen una gran cantidad de huevos que eclosionan en uno o dos días (más rápido cuanto mayor sea la temperatura entre 25 y 28 grados). Los huevos se diseminan hacia fuera o sobre la superficie del agua, hundiéndose después y quedando adheridos a las plantas y las rocas. La freza dura hasta tres horas y una hembra grande puede producir hasta 3.000 huevos, aunque 1.000-1.500 huevos son una cantidad más razonable.

Los alevines nadan libres después de 4-5 días. Se alimentan de peces y crustáceos vivos pequeños tales como nauplios de artemia recién eclosionados. Después de una semana, los jóvenes se pueden alimentar con cosas más grandes incluso puede presentarse canibalismo (Pol Mulca, 2013).

1.7.7 Alimentación.

Carnívoro y depredador. Se alimenta de presas vivas. Entre las presas vivas, larvas, moluscos, lombrices y similares también se alimentan de peces y anfibios que puedan engullir.

Cuando adquieren su tamaño máximo, un pez de su mismo tamaño puede ser tranquilamente una de sus presas, ya que su boca está especialmente adaptada y llega a abrirla hasta insospechables dimensiones.

1.7.8 Comportamiento

Rapaz-depredador, Nada en la parte media-superior del cuerpo de agua formando grupos se le conoce como un pez de cardumen.

Caza en la noche y durante el día. Es implacable cazando, pues se plantea el objetivo y en milésimas de segundo tuerce la cola y caza la presa que se haya fijado como objetivo. Luego se la coloca siempre primero la cabeza y lo engulle de tal manera que parece desencajar la mandíbula. Si la presa es demasiado grande y ve que no se la puede tragar, es capaz de escupirla viva aún, el proceso de evacuación es algo parecido a un estornudo. También es totalmente capaz de cazar presas en el suelo.

Tiene un metabolismo increíblemente rápido, se le hincha mucho el estómago pero con pocas horas ya está aparentemente normal, en menos de 24 horas. Este pez es tímido y nervioso. Si le está asustado puede nadar frenéticamente.

1.8 Metales pesados

Un metal pesado es un miembro de un subconjunto bien definido de elementos que exhiben propiedades metálicas, que principalmente se incluyen los metales de transición, algunos metaloides, lantánidos y actínidos. Muchas definiciones se han propuesto diferentes, algunos basados en la densidad, algunos en el número atómico o peso atómico, y algunas de las propiedades químicas o toxicidad (Duffus, 2002).

Los metales tóxicos son: Berilio, Mercurio, Bario, Cadmio, Cobre, Plomo, Manganeso, Níquel, Estaño, Vanadio, Zinc, Arsénico, Cromo, Hierro y Selenio.

Para objeto de la tesis se usara solamente: Hg.

1.9 Factores bióticos y abióticos

Los factores que influyen en la toxicidad de los metales en organismos acuáticos pueden ser divididos en dos principales categorías: factores bióticos y abióticos.

1.9.1 Los factores bióticos que influyen en la toxicidad de los metales:

La tolerancia al metal. Muchos organismos pueden responder fisiológicamente, aclimatándose a la toxicidad del metal, si son pre-expuestos a concentraciones sub-letales de metales. Los organismos aclimatados son generalmente más tolerantes a toxicidades que aquellos que no son expuestos previamente. Los mecanismos biológicos de defensa contra metales pesados envuelven por ejemplo, la secreciones de mucosidad en peces; el almacenamiento de metales en vesículas o glándulas dentro de órganos como el hígado y el riñón; la producción

en bacterias, hongos, plantas y mamíferos de metalotioneínas, que son proteínas ricas en cisteínas que se ligan a los metales, tal como Zn (II), Cd (II), Hg (II); la conversión del metal a formas volátiles. La tolerancia adquirida parece ser temporal y específica al metal y obviamente depende de la estructura de los organismos.

Etapas de vida y tamaño de los organismos. Estos factores tienen un efecto importante en la sensibilidad hacia la toxicidad del metal. Generalmente organismos adultos y de mayor tamaño son más tolerantes que aquellos de menor tamaño y que están en etapas de vida iniciales. Hay excepciones de formas en estados iniciales que son más resistentes a los metales.

La toxicidad diferenciada de metales entre especies de organismos, lo que es un parámetro importante para la conducción de pruebas de toxicidad. En ambiente acuático, las algas, bacterias, plantas superiores, invertebrados y vertebrados, todos ocupan su propio nicho naturalmente y no reaccionan de la misma forma con las sustancias tóxicas.

La nutrición que es otro factor con una fuerte influencia en la toxicidad. (González Bucio, 2006).

1.9.2 Los factores abióticos que influyen en la toxicidad de los metales son:

Las sustancias orgánicas, como por ejemplo sustancias quelantes (EDTA y NTA) y sustancias húmicas presentes en varios sistemas acuáticos naturales. Diversos estudios indican que, generalmente, las sustancias orgánicas pueden reducir la toxicidad de metales como el cobre, el cadmio y en zinc.

El pH, cuyo efecto sobre la toxicidad en los metales es muy complejo, siendo principalmente dependiente de especies de metales. Estudios sugieren que toxicidades de Cd, Cu y Zn crece con el aumento del pH, especialmente de pH 4 a 7, en cuanto mientras que otros trabajos indican que la toxicidad del Hg, Ni, Mn, Cu y Pb aumentan con el decrecimiento del pH.

La variación de temperatura que también puede afectar la toxicidad de los metales en organismos acuáticos y cuya variación estaminal debe ser considerada. La mayoría de estudios indican que la toxicidad crece con un aumento de temperatura. La asimilación de metales traza por organismos marinos también cambia conforme la variación estacional de la temperatura.

La alcalinidad y dureza del agua que moderan la toxicidad de metales en aguas naturales. Experimentos revelan que un aumento de la dureza del agua reduce la toxicidad del Cd, Cu, Hg y Zn. Existen dos mecanismos que pueden estar envueltos: uno es la formación de complejos de iones, de metales con carbonatos y otro la competición entre un ion del metal iones de Mg o Ca.

La salinidad es otro parámetro que desempeña un importante papel en el metabolismo y consecuentemente, la toxicidad de los metales. Generalmente, la toxicidad de los metales como Ni, Zn, Sn, Cu y Cd decrece con el aumento de la salinidad.

Las interacciones entre metales. Los efluentes industriales o domésticos generalmente vierten más de una sustancia tóxica o potencialmente tóxica. Los efectos tóxicos combinados de todos los componentes no son frecuentemente equivalentes a la suma de todos los efectos individuales siendo a veces, menores u otras veces mayores (Luz Barba, 2002).

Los sedimentos que en aguas naturales contienen diversos tipos y cantidades. Debido a los sitios de adsorción de metales, los sedimentos pueden ser considerados como factores de atenuación para toxicidades de los metales en el ambiente (Galán y Romero, 2008).

1.10 Bioacumulación.

La bioacumulación es la captación de un químico por un organismo desde el medio biótico (alimento) y/o abiótico concentrándolo en el organismo (Rand et al., 1995).

Cuando la concentración de una sustancia aumenta en el organismo expuesto en función del tiempo; por ejemplo, que las concentraciones de una sustancia específica son más altas en los peces adultos que en los jóvenes del mismo sitio se dice que hay bioacumulación (Palacios, 1997).

El factor de bioacumulación es la relación (en L/kg) de concentración de una sustancia en los tejidos de un organismo acuático a su concentración en el ambiente del agua, en situaciones en las que están expuestos tanto en el organismo como su comida y la proporción no cambia sustancialmente con el tiempo (EPA, 1995).

La acumulación neta de una sustancia por un organismo como consecuencia de la absorción de todas las fuentes del medio ambiente (EPA).

Los procesos de bioacumulación son debidos, básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo (Marcovecchio *et al.*, 1991).

La bioacumulación es ese fenómeno que, independientemente de la razón y los resultados en el mecanismo de los organismos marinos o tejido en particular de ese organismo, la acumulación de una mayor concentración de un contaminante que el que está presente en el mar (FAO, 1976).

Aumento progresivo en la cantidad de un producto químico en un organismo o parte de él. Ocurre debido a que la tasa de absorción excede la capacidad del organismo para eliminar la sustancia (CEPIS-OPS).

1.10.1 Bioconcentración.

Acumulación de los contaminantes en el organismo a partir del agua y por la ingestión de alimento llevándose a cabo un aumento de las concentraciones, siendo este último la principal vía para la captación de contaminantes en todos los organismos (Hall, 2003).

Proceso por el cual una sustancia alcanza en un organismo una concentración más alta que la que tiene en el ambiente al cual dicho organismo está expuesto (CEPIS-OPS).

La acumulación neta de una sustancia por un organismo acuático como consecuencia de la captación directa del agua ambiente a través de membranas de las branquias u otras superficies corporales externas (EPA).

1.10.2 Factor de Bioacumulación

La relación (en L / kg) de concentración de una sustancia en los tejidos de un organismo acuático a su concentración en el ambiente del agua, en situaciones en las que están expuestos tanto en el organismo como su comida y la proporción no cambia sustancialmente con el tiempo (EPA).

1.10.3 Factor de Bioconcentración

Medida de la acumulación de un contaminante químico en los tejidos de peces u otros organismos. La concentración de equilibrio de un contaminante en los peces se puede estimar al multiplicar la concentración de un producto químico en el agua superficial por el factor de concentración de peces para ese producto. Este parámetro es un determinante importante de la absorción humana a través de la vía de ingestión de alimentos acuáticos (CEPIS-OPS).

La relación (en L/kg) de concentración de una sustancia en los tejidos de un organismo acuático a su concentración en el ambiente del agua, en situaciones en las que se expone el organismo solo a través del agua y la proporción no cambia sustancialmente con el tiempo (EPA).

1.10.4 Biomagnificación.

Transferencia de un químico Xenobiótico desde el alimento a un organismo, resultando en una alta concentración dentro del organismo comparada con la fuente de origen (Conell, 1990; Rand *et al.*, 1995), con lo cual, se da un incremento en la concentración entre los niveles tróficos.

Es el aumento en la concentración de una sustancia sucesivamente en los eslabones de la cadena trófica; como resultado, sus concentraciones en los organismos que están al final de dichas cadenas son muchos más elevadas que en los organismos que están en la base de ellas (Palacios, 1997).

1.11 Fuentes de emisión y generación de Hg.

Entre las principales fuentes de emisión de mercurio de mayor preocupación en México se tiene:

- Actividades mineras de extracción de oro, plata y cobre.
- Fundición primaria y secundaria de metales.
- Producción de carbón y coque.
- Combustión de combustóleo y carbón en la generación de electricidad.
- Industria de cloro-sosa.
- Incineración de residuos peligrosos y biológicos infecciosos.
- Fungicidas usados en la agricultura

1.11.1 Concentración.

Proporción de contaminante presente en un medio generalmente expresado en unidades de masa como micro o nanogramos fraccionando a una unidad de masa mayor como gramos o kilos ($\mu\text{g}/\text{k}$ $1\text{ng}/\text{g}$) (Glosario de términos calidad del aire, 2010).

1.11.2 Metilmercurio (CH_3Hg)

Una de las formas orgánicas del mercurio, considerada como la forma más tóxica de todos sus componentes. Se forma de la unión del mercurio con un radical metil CH_3 (Manahan, 1992).

2.0 Metodología.

2.1 Material.

- Espectrómetro de Absorción Atómica, de doble rayo Varian, modelo SpectrAA 220, con llama aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno y generador de hidruros VGA 77.
- Balanza analítica Sartorius BL 120 S (0.1 mg).
- Vaso precipitado.
- Kitasato.
- Pipetas.
- Matraz de fondo redondo de una boca.
- Refrigerante de bolas.
- Soportes.
- Mangueras de goma.
- placa calefactora.
- Bisturí.
- Pinzas gruesas con bocado.
- Pinzas finas para manipulación de estructuras delicadas.
- Pinza Diente de ratón.
- Aguja enmangada
- Guantes de nitrilo o látex
- Pinzas de pean

- Aguja de disección recta
- Separadores
- Cánula o Sonda acanalada
- Cubeta de disección

2.1.1 Reactivos.

Los reactivos utilizados para el tratamiento de las muestras fueron de grado analítico (grado HPLC):

- Ácido nítrico J.T. Baker, al 69 – 70 % y $d = 1.42$ Kg/L.
- Ácido Clorhídrico JT. Baker, 36.5 – 38 %.
- Ácido sulfúrico JT. Baker, 98% pureza.
- Agua bidestilada para lavado de los utensilios.
- Patrones (estándares) 1000 \pm 0.1 ppm de cada elemento metálico. Marca Varian.

2.2 Diseño de muestreo

Se estableció el diseño del muestro en el cual se tomó de referencia el cuerpo de agua ubicado detrás de la colonia nuevo progreso, conocido como la sabana, en dicho sitio se eligieron dos puntos, los cuales fueron encontrados arriba y debajo de la zona de descarga de aguas tratadas de la planta de tratamiento el centenario. El punto 1 se ubicó en las coordenadas: latitud $18^{\circ}31'59.59''\text{N}$, longitud $88^{\circ}19'30.36''\text{O}$ sobre la calle jabalí a un costado de colonia nuevo progreso de la ciudad de Chetumal y el punto 2 ubicado en las coordenadas: latitud $18^{\circ}32'30.61''\text{N}$, longitud $88^{\circ}18'53.86''\text{O}$ al final de calle camino al cielo. En cada uno de los puntos se pescaron y seleccionaron los ejemplares. El muestreo fue de forma discrecional seleccionar 3 de los mejores especímenes por cada punto muestro, teniendo un total de 6 peces los cuales fueron refrigerados a 4°C , para posterior transporte al laboratorio.

En la imagen se muestran los puntos de muestreo.

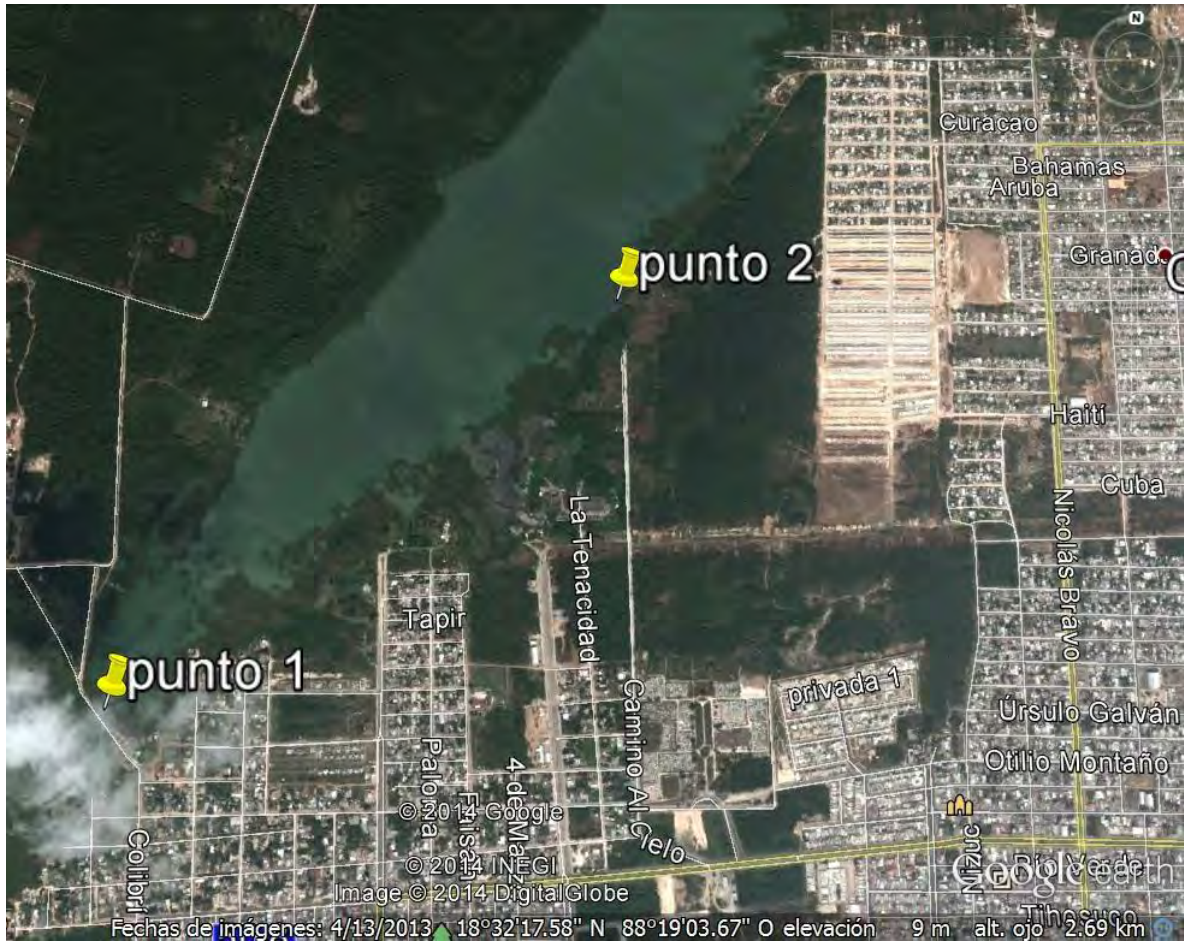


Figura 1. Mapa de puntos de muestreo.

2.2.1 Método de captura

Los peces se capturaron de manera tradicional con anzuelo, sedal y cebo. Este arte de pesca también se le conoce como línea de mano.

La pesca con línea, como dice la misma palabra, es un método de pesca que consiste en la utilización de una línea y un anzuelo, normalmente con cebo, que se introduce en el agua desde una barca a la deriva, anclada o en movimiento, o desde una escollera, muelle o roca de la costa en contacto con el agua. Si el pez pica el anzuelo puede cobrarse con la mano. Este procedimiento, aparentemente sencillo, supone un gran esfuerzo de planificación para elegir un anzuelo, una línea y un lastre que sean los más adecuados para la talla y fuerza de los peces que se desean capturar. Además, hay que disponer de la técnica necesaria para cobrar los peces, una vez que se consigue que piquen el anzuelo. Los peces se capturan. Además, hay que disponer de la técnica necesaria para cobrar los peces, una vez que se consigue que piquen el anzuelo (B. A. Bjarnason, 2011).

Este tipo de técnica nos permitió capturar a los peces de manera selectiva sin atrapar otros peces, Para ello se tomó decisión referentes al tamaño, resistencia y tipo de anzuelo y cebo que se debe utilizar, la resistencia y tipo de línea y los nudos utilizados para fijar el anzuelo de manera que no cedan ni el anzuelo, ni la línea ni el nudo, pues de lo contrario el pez podría escapar, se utilizó un anzuelo del número 6 anudado a un filamento de nylon de 0.15 mm de grosor capaz de soportar hasta 3 kg de peso, como cebo se utilizó trozos pequeños de pescado que fueron comprados en el mercado local.

Procedimos a realizar la captura en nuestros puntos al atardecer el primer día en el punto uno y el segundo día en el siguiente punto. Para ello tuvimos que saber cuáles son los mejores momentos del día para pescar a las barracudas de agua

dulce. El atardecer cuando la luminosidad disminuye y los predadores salen de caza. El momento en que amanece estos peces despliegan toda su agresividad hacia cualquier presa que pase cerca de ellas, sin embargo al hacerse de día dejan de cazar y las capturas disminuyen siendo muy difícil la captura de algún ejemplar. Al atardecer, los espetones se vuelven a activar siendo estas horas las mejores para su pesca, incluso habiendo anochecido las horas siguientes nos darán capturas ya que la barracudas de agua dulce permanecerán cazando toda la noche.

En el primer punto se capturaron 10 ejemplares de los cuales solo se seleccionaron los 3 más grandes los cuales fueron trasladados al laboratorio para su disección, mientras que el resto se liberaron nuevamente a la laguna.

En el segundo punto se capturaron 5 ejemplares de los cuales se cogieron los 3 de mayor tamaño los cuales se transportaron al laboratorio para la disección, al igual que en el primer punto se liberaron los peces que no fueron seleccionados.

2.2.3 Disección

Antes de la disección los organismos serán medidos y pesados. Los utensilios a utilizar deberán ser de acero inoxidable no magnético de alta calidad para evitar la contaminación de las muestras (FAO, 1976).

Utilizamos unos guantes de látex y las pinzas para colocar a los peces en la charola de disección, se retiran las escamas y la piel debajo de ellas con el bisturí, con ayuda de las agujas y los ganchos se sostuvieron los ejemplares para cortar un trozo de muestra de la parte lateral comenzando de la cola hasta el pectoral del pez más o menos un pequeño filete el cual fue pesado con la balanza analítica en un vidrio de reloj, para posteriormente pasar a la digestión.

2.2.4 Digestión y análisis de las muestras

La digestión de los tejidos de *Ctenolucius hujeta* es una modificación al método descrito por Falusi y Olanipekun (2007), concuerda con el método de Perkin Elmer Instruments y con el procedimiento de digestión de muestras tal como se desarrolla en la Universidad de Liverpool (Evans et al. 1986).

Se pesaron 3 g de tejido de cada pez y se colocaron en un matraz de globo o balón. Se agregan 7 ml de ácido nítrico y 21 ml de ácido clorhídrico. Se conectaron en el matraz al sistema de reflujo se calentó durante una hora o hasta que no se observaron cambios en la digestión. Una vez que se enfrió la muestra se filtro la solución por gravedad.

La digestión se diluyo con agua desionizada y se filtro a través del filtro de gravedad. El residuo es lavado con agua desionizada a fondo y combinación del lavado y filtrado se hace hasta la marca en un matraz aforado de 100 ml con agua desionizada para quitar grasas e impurezas. La solución se almaceno en recipientes de plástico limpio y etiquetado, y se colocan en refrigeración a 4°C hasta su análisis.

Posteriormente para determinar el contenido de mercurio en *Ctenolucius hujeta* se realizaro un análisis de metales por Espectrometría de Absorción Atómica con Llama, para ello se uso un espectrómetro de doble rayo marca Varían, modelo Spectro AA 220, con llama aire/acetileno y óxido nitroso/acetileno y generador de hidruros VGA 77 (vapor frío) para mercurio.

2.2.5 Cálculo 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 (Ref). El E para el consumo de mercurio se calcula mediante:

$$E = \frac{C I}{W}$$

Donde C es la concentración de metilmercurio la cual se calculó bajo la suposición que el 80% del mercurio medido en el tejido correspondía a metilmercurio. En la educación anterior, I es la ingesta diaria del pescado (kg/d). Y W es el peso promedio. Se consideró 70 kg para una persona adulta y 30 kg para niños. Se utilizó el valor propuesto por la EPA (Environmental Protection Agency) para un Rfd de metilmercurio de 0.1 ug/d/kg.

3.0 Resultados

Tabla 1. Resultados de la captura de peces en los puntos 1 y 2.

Punto de muestro	Numero de muestra	Longitud (cm)	Peso (gramos)
Punto 1	1	13	14
	2	14	17
	3	15	19
Punto 2	4	12	14
	5	13	15
	6	14	18

En la tabla 1 se puede observar las características en cuanto a longitud y peso de los organismos capturadas en cada punto. En el punto 1 se encontraron las 3 primeras muestras las cuales fueron capturadas sobre la calle jabalí detrás de la colonia nuevo progreso, podemos observar que el pez con la longitud más grande capturado en ese punto midió 15 cm y tuvo un peso de 19 gr. En el punto 2 se obtuvieron peces de un tamaño más pequeño, de los cuales el más grande midió 14 cm con un peso de 18 gr.

Tabla 2. Resultados de las muestras de la zona de muestreo, 2014.

Method: Hg agua (Flame)	
Element – Matrix:	Hg – agua
Instrument Type:	Flame
Conc. Units:	Mg/L
Instrument Mode:	Absorbance
Sampling Mode:	Manual
Calibration Mode:	Concentration
Measurement Mode:	Integrate
Replicates Standard:	3
Replicates Sample:	3
Expansion Factor:	1.0
Minimum Reading:	Disabled
Smoothing:	5 point
Conc. Dec. Places:	2
Wavelength:	.0 nm
Slit Width:	1.0 nm
EHT:	335 Volts
Lamp Current:	10.0 mA
Lamp Position:	3
Background Correction:	BC Off
STANDARD 1:	1.00 mg/L
STANDARD 2:	5.00 mg/L
STANDARD 3:	10.00 mg/L
STANDARD 4:	20.00 mg/L
Reslope Rate:	50
Reslope Standard No.:	2
Reslope Lower Limit:	75.0%
Reslope Upper Limit:	125.0%
Recalibration Rate:	100
Calibration Algorithm:	Linear
Cal. Lower Limit:	20.0%
Cal. Upper Limit:	150.0%
SIPS:	Off

Segunda parte de la tabla 2

Measurement Time:	5.0 s
Pre-Read Delay:	10 s
Flame Type:	Air/Acetylene
Air Flow:	13.50 L/min
Acetylene Flow:	2.00 L/min
Burner Height:	0.0 mm

Sample ID	Conc mg/L	%RSD	Mean Abs	Replicates_			
CALZERO	0.00	32.1	-0.0007	-0.0009	-0.0005	-0.0006	11/3/14 12:55:52 PM
STANDARD 1	1.00	1.5	0.0262	0.0258	0.0266	0.0262	11/3/14 12:56:24 PM
STANDARD 2	5	0.7	0.0546	0.0547	0.0549	0.0542	11/3/14 12:57:02 PM
STANDARD 3	10.00	0.0	0.1012	0.1012	0.1012	0.1013	11/3/14 12:57:36 PM
STANDARD 4	20.00	0.8	0.1946	0.1941	0.1963	0.1934	11/3/14 12:58:10 PM

Tercera parte de la tabla 2

Sample ID	Conc mg/L	%RSD	Mean Abs	Replicates_			
Control	5.03	0.9	0.0549	0.0546	0.0547	0.0555	11/3/14 12:58:54 PM
1	2.77	2.4	0.0337	0.0343	0.0340	0.0328	11/3/14 12:59:36 PM
2	2.25	2.3	0.0288	0.0285	0.0284	0.0296	11/3/14 1:00:06 PM
3	3.05	0.3	0.0457	0.0458	0.0457	0.0455	11/3/14 1:00:38 PM
4	1.81	2.0	0.0248	0.0243	0.0247	0.0253	11/3/14 1:01:12 PM
5	1.03	2.0	0.0362	0.0368	0.0364	0.0354	11/3/14 1:02:00 PM
6	0.50	2.0	0.0125	0.0128	0.0123	0.0125	11/3/14 1:02:32 PM

En la Tabla 2 podemos observar que las muestras 1 a la 5 presentan las concentraciones más elevadas del metal Hg de acuerdo a los límites máximos permisibles de acuerdo a la norma nacional mexicana NOM-242-SSA1-2009, donde establece que el Hg no debe rebasar los valores de 1 mg/kg. En el sitio, si comparamos los valores encontrados con los de la norma Food and Drug Administration (FDA), 2001, podemos observar que en las primeras 5 muestras se rebasó el valor del Límite Máximo Permitido (LMP) (hasta 0.5 mg/l).

Tabla 3. Parámetros del equipo espectrómetro de absorción atómica.

Variable	Hg (A/A)
Longitud de Onda (nm)	217
Flujo de aire (L/min)	3.5
Flujo de combustible (L/min)	1.5
Corrección de fondo D2	SI
Intensidad de corriente (mA)	10
Slit (mm)	1
Altura de quemador (mm)	13.5

En la tabla 3 se encuentran los datos que nos servirán de orientación para valorar el estado de nuestro equipo de absorción atómica para el caso particular de la medición de mercurio de las muestras.

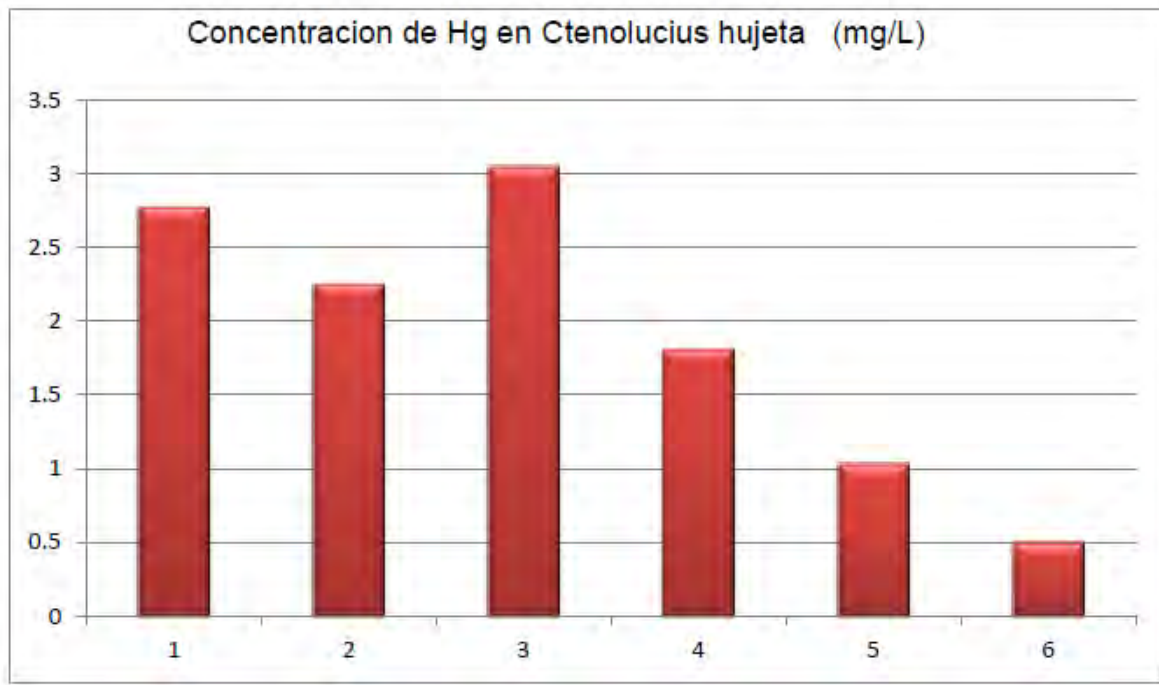


Figura 2.

Se muestra la concentración de mercurio obtenidas en la medición representada en una gráfica de barras, en el eje vertical tenemos la concentración de Hg que se encuentra medida en mg/l y en el eje vertical se representa cada una de las muestras ya tratadas, podemos notar la muestra número 3 es la que obtuvo la concentración más alta de Hg a lo contrario de la muestra número 6 que contiene el nivel más bajo de Hg.

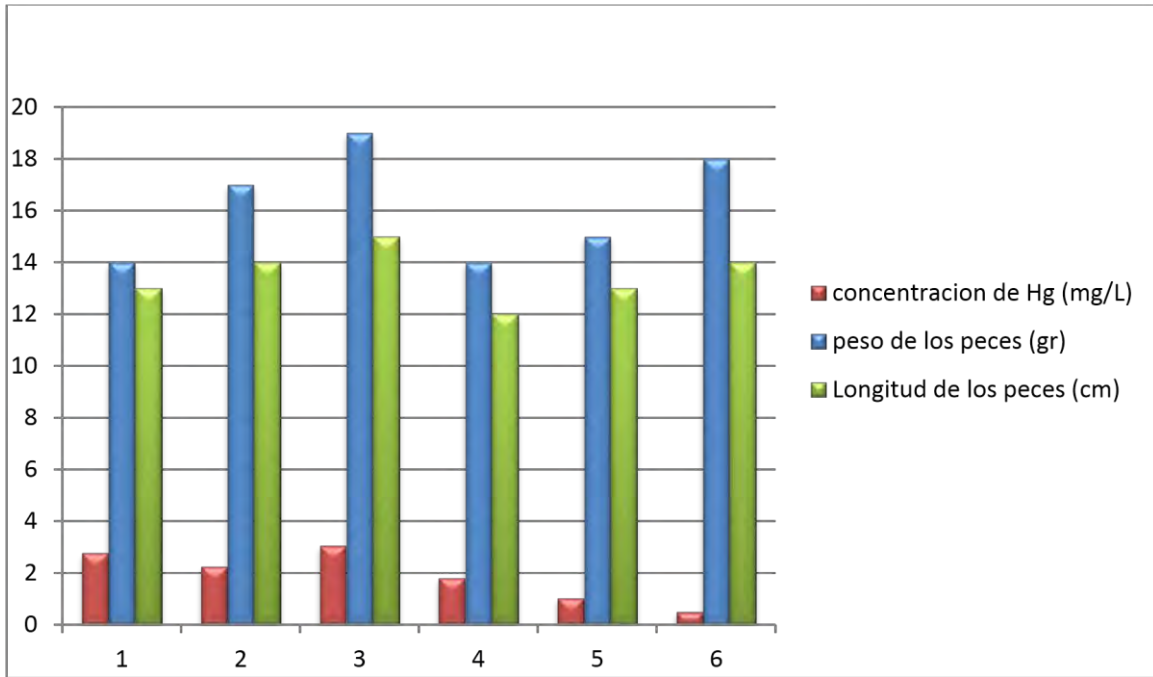


Figura 3.

Se muestra la relación que existe entre la concentración de mercurio y la longitud total y peso de los peces.

En esta figura podemos observar que la concentración del organismo y el peso son directamente proporcionales a la concentración de Hg presente en cada espécimen.

Si comparamos los resultados con otros estudios semejantes, podemos observar que los primeros 5 valores arrojados (2.77, 2.25, 3.05, 1.81, 1.03 mg/L) de las concentración obtenidas de Hg en los organismos estudiados (*Ctenolucius hujeta*), se encuentran por encima de los valores reportados por (Márquez *et al*, 2008) y (Marcano y Troconis, 2001), no sucedió lo mismo con la muestra 6 (0.5 mg/L) que se encontró por debajo de los valores reportados por estos dos autores.

Tabla 4. Índice de peligrosidad para el consumo de metilmercurio basado en una persona de peso promedio (70 kg).

I	W	CI	E
0.01	70	17.115	0.2445
0.02	70	34.23	0.489
0.03	70	51.345	0.7335
0.04	70	68.46	0.978
0.05	70	85.575	1.2225
0.06	70	102.69	1.467
0.07	70	119.805	1.7115
0.08	70	136.92	1.956
0.09	70	154.035	2.2005
0.1	70	171.15	2.445

La tabla nos muestra en rojo los valores de ingesta que tienen un índice de peligrosidad superior al recomendado, esto quiere decir que si un adulto de peso promedio consume diariamente más 0.05 kg de pez aproximadamente, puede traerle consecuencias a su salud.

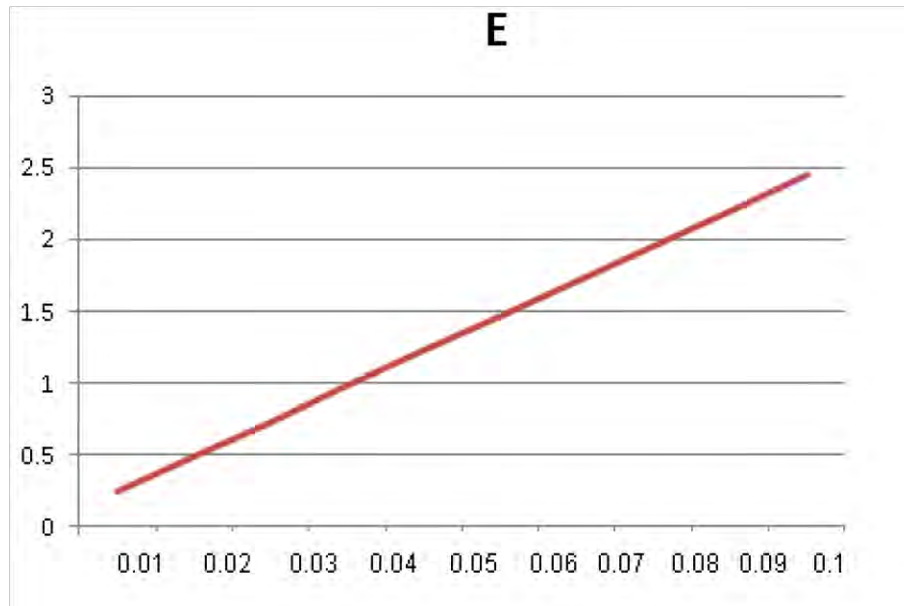


Figura 4.

Se presenta la gráfica del índice de peligrosidad para una ingesta diaria de pescado de 0.01 a 0.1kg/d basada en una persona de peso promedio. Nótese que la relación entre el índice de peligrosidad y la ingesta diaria de pescado se desarrolla en una forma lineal.

Tabla 5. Índice de peligrosidad para el consumo de metilmercurio basado en el peso promedio de niños menores de 15 años (30 kg).

I	W	CI	E
0.01	30	17.115	0.5705
0.02	30	34.23	1.141
0.03	30	51.345	1.7115
0.04	30	68.46	2.282
0.05	30	85.575	2.8525
0.06	30	102.69	3.423
0.07	30	119.805	3.9935
0.08	30	136.92	4.564
0.09	30	154.035	5.1345
0.1	30	171.15	5.705

La tabla nos muestra en rojo los valores de ingesta que tienen un índice de peligrosidad superior al recomendado, esto quiere decir que si un niño de peso promedio consume diariamente más 0.02 kg de pez aproximadamente, puede traerle consecuencias a su salud. Nótese que ingesta diaria es menor si se le compara con la tabla 4.

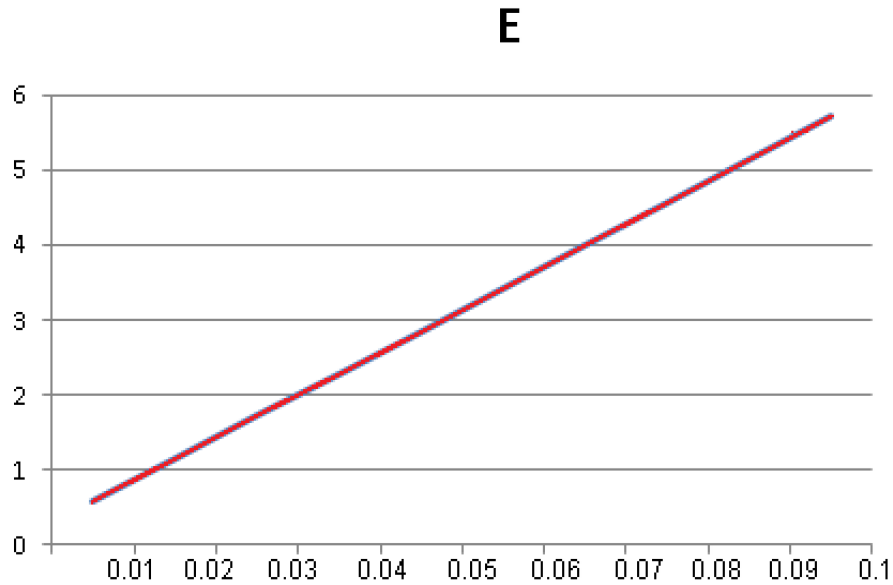


Figura 5.

Se muestra la gráfica del índice de peligrosidad para una ingesta diaria de pescado de 0.01 a 0.1kg/d basada en un niño de peso promedio. Podemos observar en la tabla casi todos los valores rebasan el limite referido en el cálculo del índice de peligrosidad se recomienda que los infantes no consuman carne de este pez.

4.0 Discusión.

en la actualidad nuestro país está implementando programas de investigación para establecer los límites de concentración de mercurio específicos para diferentes especies de peces que son de gran importancia para el consumo humano, como los peces consumidores terciarios, los cuales, se consideran depredadores más altos de la cadena trófica, debido a esto podrían tener valores de mercurio elevados debido a la bioconcentración, en comparación a los valores de sus presas, por lo que se podría considerar que existe la biomagnificación del mercurio en estos organismos.

Numerosos factores podrían estar influenciando en la acumulación de Hg en los peces. Condiciones fisicoquímicas como el pH, la dureza del agua, la temperatura, el oxígeno disuelto, las diferentes formas en las que se encuentra el Hg en el cuerpo de agua y otros aspectos biológicos importantes como los hábitos alimentarios, el sexo, la ubicación de los organismos en el cuerpo de agua. En este estudio se determinó la concentración de Hg en tejido muscular y la diferenciación de concentración según la longitud de los peces de *Ctenolucius hujeta* extraídos en la laguna a espaldas de la colonia nuevo progreso. Se estableció la correlación entre la longitud y peso de los ejemplares con el Hg.

Ctenolucius hujeta siendo una especie poco utilizada para el consumo en la zona se calculó su índice de peligrosidad para el consumo de metilmercurio resultando ser peligroso ya que contiene grandes cantidades del contaminante al ser un organismo de hábitos predatorios.

5.0 Conclusiones.

- En el tejido de los peces fue posible detectar y cuantificar mercurio. La concentración de mercurio sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-242-SSA1-2009 lo cual nos indica que puede ser riesgoso su consumo.
- Las concentraciones de mercurio en *Ctenolucius hujeta* fueron superiores a los límites máximos establecidos por la FDA y la FAO, mostrando que se presenta riesgo para estos organismos.
- De los resultados obtenidos se observa que las concentraciones más altas del mercurio se encuentran en la primera zona de muestreo ubicada muy cerca de la mancha urbana en la cual se obtuvo un resultado de 3.05 mg/L de mercurio en la muestra del ejemplar de mayor tamaño, siendo esta la zona con mayor grado de contaminación.
- Al comparar los resultados con otros estudios semejantes, podemos observar que los primeros 5 valores arrojados (2.77, 2.25, 3.05, 1.81, 1.03 mg/L) de las concentración obtenidas de Hg en los organismos estudiados (*Ctenolucius hujeta*), se encuentran por encima de los valores reportados por (Márquez *et al*, 2008) y (Marcano y Troconis, 2001), no sucedió lo mismo con la muestra 6 (0.5 mg/L) que se encontró por debajo de los valores reportados por estos dos autores.

- La ingesta diaria de este pez no debe sobrepasar 0.04 kg/d para una persona de peso promedio y 0.01 kg/d para niños, ya que según los resultados sobrepasan el índice de peligrosidad propuesto por la EPA (Environmental Protection Agency) para un Rfd de metilmercurio de 0.1 ug/d/kg.

6.0 Recomendaciones

- Se recomienda realizar análisis espacio temporal en sedimento, columna de agua y organismos de la sabana para obtener información más precisa y confirmar la contaminación por Hg.
- Se recomienda no consumir este pez ya que contiene altas concentraciones de mercurio y podría ser riesgoso para la salud.
- Realizar estudios de bioconcentración en diversas especies acuáticas que permitan identificar aquellas que son útiles como bioindicadores especialmente la tilapia y el caracol chivita por ser consumidas por los habitantes de la zona.
- Se recomienda a la clausura, saneamiento ambiental y uso final de los tiraderos a cielo abierto que son los posibles causantes de la contaminación por mercurio.

7.0 Bibliografía

- I. A. Shiklomanov, John C. Rodda. (2003). World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. Cambridge university press, United Kingdom. Cambridge University Press. Pp. 1-2
- Amílcar M. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. mineral de la reforma, hidalgo: Universidad Autónoma de Hidalgo. Pp 73-75
- Aberg, B., L. Ekman, R. Falk, U. Greitz, G. Persson and J. Snihs. (1969). Metabolism of methyl mercury (Hg) compounds in man. Arch. Environ. Health. 19: 478-484.
- EPA. (1997). Environmental Criteria and Assessment Office. Mercury study report to Congres. Cincinnati, Ohio, UnitedStates.
- Vari, R.P., (1995). The Neotropical fish family Ctenoluciidae (Teleostei: Ostariophysi: Characiformes): supra and intrafamilial phylogenetic relationships, with a revisionary study. Smithson. Contr. Zool.
- Baensch, H.A. and R. Riehl, (1985). Aquarien atlas. Band 2. Mergus, VerlagfürNatur-und Heimtierkunde GmbH, Melle, Germany. Pp 1216.

- Balon EK. (1985). Additions and amendments to the classification of reproductive styles in fishes. In: Balon EK. (ed.). Early life histories of fishes. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht. Pp. 59–72.
- Pol. Mulca (2013). Pezadicto.com, toda la información sobre peces y acuarios, *Ctenolucius hujeta* (Barracuda de agua dulce). Disponible en: <<http://www.pezadicto.com/barracuda-de-agua-dulce-ctenolucius-hujeta/>>.
- Luz. Barba (2002). Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición. Universidad del valle, facultad de ingenierías, Santiago de Cali.
- Benedito-Cecilio E, Agostinho AA, Velho RCCM. (1997). Length-weight relationship of fishes caught in the Itaipu Reservoir, Paraná, Brazil. Naga, The ICLARM Quarterly. Pp. 3-4 57-61.
- Csirke J. (1980). Introducción a la dinámica de poblaciones de peces. FAO Doc. Téc. Pesca, Pp.1-82.
- Vari RP. Reis RE, Kullander SO, Ferraris CJ Jr. (2003). Checklist of the freshwater fishes of South and Central America. Editora da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - EDIPUCRS. Porto Alegre, Brazil. Pp. 252-256.

- FAO, (Food and Agriculture Organization), (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, FAO Fishery Circular No. 464, pp. 5–100.
- FAO/WHO (1989). Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium, WHO Technical Report, Series No. 505.
- FDA (U.S. Food & Drug Administration—Center for Food Safety & Applied Nutrition) (2001). Fish and fisheries products hazards and controls guidance. [en línea]. Third Edition June 2001. <<http://www.cfsan.fda>> (acceso 02/09/14)
- González, Bucio, J. L., DíazLopez, C, CarrionJimenez, J. M. (2006) Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. Rev. Soc. Quím. Perú, ene/mar. vol.72, no.1, Pp.19-31. ISSN 1810-634X.
- Bjarnason. B.A. (1995). Pesca con línea de mano y con calamarera (Colección FAO: Capacitación. N°23). Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- NMX-AA-051-SCFI-2001. (2001). Productos y servicios. Productos de la pesca frescos, refrigerados, congelados y procesados. Especificaciones sanitarias y métodos de prueba. Estados Unidos Mexicanos. Secretaría de Salud.

- K. Julshamn and O. R. Braekkan, *At. Absorpt. Newsl.* (1975). Determination of Trace Elements in Fish Tissues by the Standard Addition Method. Pp. 14-49
- Márquez, A., Senior, W., Fermín, I., Martínez, G., Castañeda, J., González, A. (2008). Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Rev. Cient. (Venezuela)*, vol. 18, nº 1, p.73-86.
- Marcano, V., Troconis A. R. (2001). Evaluación del contenido de mercurio en el pescado expendido en la ciudad de Mérida, Venezuela. *RevBio. Lat Am.*, vol. 8, nº2, Pp. 15-24.
- Dourson, M.L. and J.F. Stara. 1983. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 3: 224-238.
- Lehman, A.J. and O.G. Fitzhugh. 1954. Association of Food Drug Officials. *USQ Bull.* 18: 33-35.
- NRC (National Research Council). 1983. *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process*. NAS Press, Washington, DC.
- U.S. EPA. 1987. *The Risk Assessment Guidelines of 1986*. Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC. EPA/600/8-87/045.