

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**



**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA, PECES,  
ALMEJAS E *Hydrilla verticillata* DEL LAGO DE IZABAL**

**Informe de tesis**

**Presentado por**

**ANDREA PAMELA BOY MANSILLA**

**Para optar al título de**

**QUÍMICA BIÓLOGA**

**GUATEMALA, MAYO DE 2015**

## **ACTO QUE DEDICO**

- |                        |   |
|------------------------|---|
| A Dios                 | Por darme la fuerza y los conocimientos necesarios para concluir esta etapa de mi vida. |
| A mis padres y familia | Por todo su amor, apoyo, consejos y comprensión.  |
| A mi pequeña Valentina | Por ser la fuerza que me impulsa a ser mejor persona cada día.                          |
| A mis asesores         | Lic. Arroyo, Dr. Pérez Sabino y Lic. Robles por el apoyo y consejos brindados.          |
| A mi revisora          | Dra. Herrera por el apoyo brindado.   |

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad San Carlos de Guatemala.

A la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

A la Escuela de Química Biológica, a todo el personal docente y administrativo.

A la Escuela de Química, a todo el personal docente y administrativo.

A mis Asesores Lic. Gerardo Arroyo, Dr. Francisco Pérez Sabino y Lic. Eduardo Robles por toda la confianza, apoyo y consejos.

Un especial agradecimiento a Manuel Muñoz (QQ) por el apoyo brindado.

## **JUNTA DIRECTIVA**

Dr. Rubén Dariel Velásquez Miranda	Decano
Licda. Elsa Julieta Salazar Meléndez de Ariza, M.A.	Secretaria
MSc. Miriam Carolina Guzmán Quilo	Vocal I
Dr. Sergio Alejandro Melgar Valladares	Vocal II
Br. Michael Javier Mó Leal	Vocal IV
Br. Blanqui Eunice Flores De León	Vocal V

## INDICE

Tema	Página
1, Resumen	1
2. Introducción	3
3. Antecedentes	
3.1 Contaminación del agua	4
3.2 Metales pesados	4
3.3 Metales pesados y sus efectos en la salud	6
3.3.1 Arsénico	7
3.3.2 Cadmio	7
3.3.3 Mercurio	9
3.3.4 Plomo	9
3.4 Límites permisibles de toxicidad de metales pesados	11
3.5 <i>Hydrilla verticillata</i>	13
3.6 Agua	14
3.7 Almejas	15
3.8 Peces	15
3.9 Métodos de detección de metales pesados	
3.9.1 Espectrometría	16
3.9.1.1 Métodos espectrométricos según la naturaleza de la excitación medida	16
3.9.1.2 Métdos espectrométricos según el proceso de medida	17
3.9.1.3 Tipos de espectrometría	
3.9.1.3.1 Espectrometría de absorción	18
3.9.1.3.2 Espectrometría de fluorescencia	18
3.9.1.3.3 Espectrometría de rayos X	18
3.9.1.3.3.1 Ventajas y desventajas	19
3.9.1.3.4 Espectrometría de llama	20
3.9.1.4 Aplicaciones	20
3.9.2 Voltamperometría	20
3.9.2.1 Sistema de tres electodos	21
3.9.2.2 Tipos de voltamperometría	23
3.9.2.3 Aplicaciones	
3.9.2.3.1 Sensores voltamperométricos	24
3.9.2.3.2 Electrodo de oxígeno	24
3.10 Area de estudio	25
3.10.1 Fauna y flora del algo de Izabal	
3.10.1.1 Flora	25
3.10.1.2 Fauna	26

Tema	Página
3.11 Minería en Izabal	28
3.11.1 Historia del níquel en Izabal	28
3.11.2 Situación actual	29
3.12 Estudios realizados anteriormente	29
4. Justificación	31
5. Objetivos	32
6. Hipótesis	33
7. Materiales y métodos	
7.1 Universo de trabajo	
7.1.1 Población	34
7.1.2 Muestra	34
7.1.3 Descripción del área de muestreo	34
7.1.4 Muestreo	35
7.2 Procedimiento	
7.2.1 Recolección y transporte de muestras	
7.2.1.1 Agua	36
7.2.1.2 Peces	37
7.2.1.3 Almejas	37
7.2.1.4 <i>Hydrilla verticillata</i>	38
7.2.2 Procesamiento de las muestras	
7.2.2.1 Agua	38
7.2.2.2 Peces	39
7.2.2.3 Almejas	39
7.2.2.4 <i>Hydrilla verticillata</i>	39
7.3 Determinación de metales pesados	40
7.4 Diseño de la investigación	40
7.5 Recolección de información	40
7.6 Análisis de resultados	41
8. Resultados	
8.1 Metales pesados	
8.1.1 Metales pesados en tejido muscular de peces	42
8.1.2 Metales pesados en muestras de agua	45
8.1.3 Metales pesados en muestras de almejas	47
8.1.4 Metales pesados en muestras de <i>H. verticillata</i>	49
9. Discusión de resultados	
9.1 Metales pesados en tejido muscular de peces	51
9.2 Metales pesados en muestras de agua	51
9.3 Metales pesados en muestras de almejas	52
9.4 Metales pesados en muestras de <i>H. verticillata</i>	53

<b>Tema</b>	<b>Página</b>
10. Conclusiones	54
11. Recomendaciones	55
12. Referencias bibliográficas	56
13. Anexos	59

## 1. RESUMEN

En esta investigación se determinó las concentraciones de metales pesados en muestras de agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago de Izabal, para establecer si estos se encontraban en concentraciones permisibles según las normas de Brazilian Food Legislation (BFL), Norma de los Criterios Recomendados para Calidad de Agua de la Environmental Protection Agency (EPA) y la Norma de Environmental Health Criteria de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Se colectaron muestras de agua, peces, almejas y la planta acuática *H. verticillata* en diez puntos de muestreo establecidos en un viaje de reconocimiento en el área de estudio en el lago de Izabal.

Los metales pesados fueron analizados mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X; el equipo de análisis fue facilitado por el Departamento de Físicoquímica de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el caso de las muestras de agua no se encontró contaminación química por metales pesados, las concentraciones determinadas se encuentran por debajo del límite permisible de Environmental Protection Agency – EPA- para cuerpos de agua dulce.

Las muestras de peces analizadas no revelaron bioacumulación de metales pesados por lo que se encuentran libres de contaminación, según las normas internacionales BFL (Brazilian Food Legislation) y WHO (World Health Organization).

En muestras de *H. verticillata* se determinó la presencia de níquel (4-35  $\mu\text{g/g}$ ) y estroncio (3-21  $\mu\text{g/g}$ ) esto como consecuencia de la absorción de esos metales los cuales son característicos de la cuenca del lago de Izabal y Río Dulce. No se halló

alguna norma que indique los límites permisibles de metales en *H. verticillata*, pero es de suponer que a largo plazo representa una fuente de contaminación ya que se convertiría en un reservorio de estos metales pudiendo afectar de alguna manera la cadena trófica del lago de Izabal.

Por lo anterior el estudio concluye en que no se determinó contaminación en las muestras analizadas de agua y peces del lago de Izabal. En el caso de *H. verticillata* se observó el mismo comportamiento reportado en otros estudios (Pérez 2003), en donde se describe la capacidad de la planta de absorber metales pesados del medio acuático circundante.

## 2. INTRODUCCIÓN

El lago de Izabal, es el lago más grande de Guatemala, con una superficie de 717 Km<sup>2</sup> y 12 metros de profundidad promedio, tiene como característica única en el país su comunicación con el mar por medio del Río Dulce. Es alimentado principalmente por el río Polochic y otros afluentes de menor magnitud.

En resultados obtenidos de estudios realizados anteriormente en donde se ha reportado la presencia de plomo, zinc y cobre en los tejidos de *Hydrilla verticillata* y debido a que estos metales pueden ingresar en la cadena trófica por medio de los organismos que los ingieran provocando un proceso de bioacumulación de metales tóxicos (Pérez, 2003), es que en esta investigación se incluirán muestras de peces, almejas, agua e *Hydrilla verticillata*.

A través de esta investigación se pretende establecer las concentraciones de metales pesados Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn)) en muestras de agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago de Izabal, para poder determinar si estos se encuentran en concentraciones entre los límites de referencia o por encima de ellos según las normas de Brazilian Food Legislation (BFL), Norma de los Criterios Recomendados para Calidad de Agua de la Environmental Protection Agency (EPA) y la Norma de Environmental Health Criteria de la Organización Mundial de la Salud(OMS).

Se obtuvieron muestras de agua, peces, almejas y *H. verticillata* de puntos de muestreo seleccionados por conveniencia en El Estor, lago de Izabal durante los meses de mayo y junio de 2012 para determinación de metales pesados por espectrofotometría de rayos X.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Contaminación del agua

La contaminación del agua es la adición de sustancias extrañas que deterioran su calidad. La calidad de agua se refiere a su aptitud para los usos beneficiosos como bebida de hombres y animales, riego de cultivos y para recreación. La calidad de agua desde el punto de vista ecológico, depende fundamentalmente de los aportes naturales dados por las lluvias y por la naturaleza geoquímica del terreno (Roldán, 1992).

Un contaminante puede ser de origen vivo como el ocasionado por microorganismos provenientes de desechos domésticos (aguas residuales principalmente); o de origen inerte como sustancias tóxicas provenientes de la erosión de los suelos, actividades mineras, agrícolas e industriales (Basterrechea *et al.*, 2003; Roldán, 1992).

#### 3.2 Metales pesados

Los metales pesados son unos de los contaminantes ambientales más peligrosos, debido a que no son biodegradables y a su potencial de bioacumulación en los organismos vivos. Se consideran los siguientes: Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) (Basterrechea *et al.*, 2003; Calderón, 1997).

Los metales pesados son contaminantes que entran al sedimento desde los cuerpos de aguas produciéndose un aumento progresivo de sus concentraciones en el tiempo y posterior bioacumulación en organismos que forman parte de esos ecosistemas. Estos elementos, en comparación con otros contaminantes, no son biodegradables y sufren un ciclo ecológico global en el cual las aguas naturales son las principales vías, siendo críticos los efectos negativos que ellos ejercen, debido a que pueden causar graves daños a nivel celular dada su capacidad para desnaturalizar proteínas, ser asimilados por el fitoplancton y organismos filtradores

e incorporados a la cadena alimenticia provocando graves alteraciones ecológicas y biológicas, no sólo al ecosistema, sino a los humanos (Dekker, 1992).

Los metales pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas. Uno de los mecanismos mediante el cual los metales llegan al ser humano se debe a que las plantas absorben el metal a través de la raíz y a su vez las especies animales lo hacen al alimentarse de aquellas. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación. La actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el ambiente en cantidades considerables, siendo ésta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas (Guevara, 1995).

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

- a) Oligoelementos o micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn. Estos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones en el suelo y agua que al evolucionar la vida, adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos, forman parte de sistemas enzimáticos, como el cobalto, zinc, molibdeno, o como el hierro que forma parte de la hemoglobina. Su ausencia causa enfermedades y su exceso intoxicaciones (Guevara, 1995).

b) Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi. Estos son los metales tóxicos cuya concentración en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas. Los términos metales pesados y metales tóxicos se usan como sinónimos pero sólo algunos de ellos pertenecen a ambos grupos. La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica. Usualmente las moléculas suelen tener dentro de su estructura grupos sulfhidrilos los cuales se combinan con facilidad con los metales pesados produciendo inhibición de las actividades enzimáticas del organismo (Guevara, 1995).

### **3.3 Metales pesados y sus efectos en la salud**

Estudios recientes han demostrado la repercusión negativa de los metales pesados en la situación del ecosistema y la salud del ser humano. Hoy día se conoce más sobre los efectos de estos elementos, cuya exposición está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón e incluso, con casos de muerte. La relación con niveles elevados de mercurio y plomo ha estado asociada al desarrollo de la autoinmunidad (el sistema inmunológico ataca a sus propias células tomándolas por invasoras) (Järup, 2003).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, comparada a la concentración del producto químico en el ambiente. La toxicidad de los metales pesados se basa en que estos influyen de diversas formas en los procesos fisiológicos de los

organismos. Los metales más peligrosos para toda forma de vida son el mercurio, el cadmio y el plomo (Guevara, 1995).

### **3.3.1 Arsénico**

Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, los minerales con mayores concentraciones son los arseniuros de cobre, plata, plomo, oro y sulfuros de arsénico. El compuesto de arsénico más utilizado, el trióxido de arsénico y es un subproducto de la fundición de minerales de cobre y plomo. La exposición prolongada del arsénico tanto en la población general como en los trabajadores puede provocar lesiones específicas en la piel (cáncer en la piel, cáncer del pulmón). La exposición crónica del arsénico en el agua de bebida causa lesiones y los niveles de concentración de arsénico en orina, sangre, cabello y uñas se consideran como marcadores de exposición. La cuantificación del arsénico en la orina es el mejor de estos indicadores. El arsénico en los suelos puede ser disuelto y adsorbido/absorbido por las arcillas o la materia orgánica. Muchos de estos procesos son mediados por la materia orgánica la que puede producir transformaciones del tipo:

- Cambios de redox que inducen la transformación arsenito-arsenato.
- La biosíntesis de compuestos de arsénico.

Las formas solubles del arsénico (p.ej., ácidos metilarsónico [MMA] y dimetilarsónico [DMA]) son fuertemente tóxicas. La ingestión de grandes dosis lleva a problemas gastrointestinales, cardiovasculares, disfunciones del aparato nervioso, y finalmente a la muerte. En general las formas inorgánicas son más tóxicas que las orgánicas, y el arsenito más peligroso que el arsenato (Katzung, 2001).

### **3.3.2 Cadmio**

La toxicidad del cadmio es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tiene para formar macromoléculas remplazando otros metales que

desempeñan un papel importante en la actividad enzimática. El cadmio causa daños en los riñones y en las enzimas e interfiere en el sistema hormonal. También la afinidad del cadmio con el grupo sulfhidril conduce a la formación de proteínas de cadena corta. El cadmio deriva sus características toxicológicas de su semejanza química con el zinc un micro alimento esencial para las plantas, los animales y los seres humanos (Guevara, 1995).

La alta exposición puede conducir a la enfermedad obstructora del pulmón y se ha ligado al cáncer de pulmón, aunque los datos referentes al último son difíciles de interpretar debido a los diferentes factores que originan el cáncer. El cadmio puede también producir efectos en el tejido óseo (osteomalacia, osteoporosis) en seres humanos y los animales. La exposición adicional a los seres humanos se presenta a través del cadmio en el aire ambiente y agua potable. Debido a su toxicidad, el cadmio se encuentra sujeto a una de las legislaciones más severas en términos ambientales y de salud humana (Guevara, 1995). En la vida acuática, el cadmio puede incorporarse a los peces a través de dos rutas principales:

- Ingestión
- Introducción en las agallas.

En el caso de los humanos, el cadmio se puede adquirir por dos vías: ingestión e inhalación. Sus efectos pueden ser divididos en dos categorías:

- **Agudos:** fiebre de vapores de metal (*metal fume fever*) causada por una exposición severa; los síntomas son equivalentes a los de la gripe; en 24 horas se desarrolla generalmente un edema pulmonar agudo, el que alcanza su máximo en 3 días; si no sobreviene la muerte por asfixia, el problema puede resolverse en una semana (Katzung, 2001).

- **Crónicos:** la consecuencia más seria del envenenamiento por cadmio es el cáncer. Los efectos crónicos que primero se observan son daño en los riñones.

Los problemas óseos han sido observados en Japón. Se denominó como la enfermedad "*itai-itai*" (por consumo de arroz contaminado con cadmio; causa: irrigación). Otros problemas incluyen anemia, decoloración de los dientes, y pérdida del sentido del olfato (anosmia) (Katzung, 2001).

### **3.3.3 Mercurio**

Una posibilidad que da lugar a la movilización del Hg es a través de su metilación, que corresponde a la formación de un compuesto organometálico. En el caso concreto del mercurio, se forma el metilmercurio,  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , el cual, al igual que otros compuestos organometálicos, es liposoluble. En consecuencia, estos compuestos presentan una elevada toxicidad, puesto que pueden atravesar fácilmente las membranas biológicas y, en particular, la piel, y a partir de aquí, la incorporación del metal en la cadena trófica está asegurada. Aparte del Hg, otros metales susceptibles a la metilación son Pb, As y Cr. La metilación de metales inorgánicos por bacterias es un fenómeno geoquímico relativamente importante que pueden presentar elementos traza como Hg, As y Sn. Especialmente importante es la metilación de Hg resultando  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , un compuesto mucho más tóxico que el mercurio (Guevara, 1995).

### **3.3.4 Plomo**

El plomo se encuentra presente en un gran número de minerales, siendo la forma más común el sulfuro de plomo (galena:  $\text{PbS}$ ). También son comunes, aunque en orden decreciente, la cerusita ( $\text{PbCO}_3$ ) y la anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ) (Chang, 2007).

El plomo es un metal suave y muy resistente a la corrosión. Es muy abundante y se extrae de la galena muy fácilmente. Siendo el plomo un elemento tóxico no esencial con capacidad de bioacumulación, afecta prácticamente a todos los órganos y/o sistemas del organismo. Los sistemas más sensibles al metal son el nervioso y cardiovascular. A concentraciones altas el plomo tiene un efecto adverso en la reproducción humana, a exposiciones continuas afecta al esperma del hombre (Guevara, 1995).

Organismos deficientes en calcio o zinc absorben plomo con mayor facilidad cuya mayoría se almacena en los huesos. Los altos niveles de la exposición pueden dar lugar a efectos bioquímicos tóxicos en los seres humanos que alternadamente causan problemas en la síntesis de la hemoglobina, de efectos sobre los riñones, del aparato gastrointestinal, del sistema reproductivo, y daños agudos o crónicos al sistema nervioso (Guevara, 1995).

La exposición puede ocurrir a través del agua potable, del alimento, del aire, del suelo y del polvo de la vieja pintura que contiene plomo. El alimento, el aire, el agua y polvo/tierra son los caminos potenciales principales de la exposición los infantes y los niños jóvenes. Sus características físicas y químicas se aplican en las industrias de la fabricación, de la construcción y del producto químico. Se forma y es fácilmente maleable y dúctil (Guevara, 1995).

El plomo es un metal carente de valor biológico, es decir, no es requerido para el funcionamiento normal de los seres vivos. Debido a su tamaño y carga, el plomo puede sustituir al calcio y además de manera preferente, siendo su sitio de acumulación, los tejidos óseos. Esta situación es particularmente alarmante en los niños, que debido a su crecimiento incorporan altas cantidades de calcio. Altas dosis de calcio hacen que el plomo sea "*removido*" de los tejidos óseos, y que pase a incorporarse al torrente sanguíneo. Una vez ahí puede inducir nefrotoxicidad, neurotoxicidad, e hipertensión. Niveles de plomo en sangre de 0.48 µg/l pueden inducir en los niños los siguientes daños: daño durante el desarrollo de los órganos del feto, daño en el sistema nervioso central, reducción de las habilidades mentales e iniciación de desórdenes del comportamiento y daño en las funciones del calcio (anteriormente discutido) (Guevara, 1995).

En adultos que trabajan en ambientes expuestos a la contaminación con plomo, el metal puede acumularse en los huesos, donde su vida media es superior a los 20 años. La osteoporosis, embarazo, o enfermedades crónicas pueden hacer que

éste plomo se incorpore más rápidamente a la sangre. Los problemas relacionados con la sobreexposición al plomo en adultos incluyen los siguientes daños: daño en los riñones, daño en el tracto gastrointestinal, daño en el sistema reproductor, daño en los órganos productores de sangre, daños neurológicos y abortos (Katzung, 2001).

### **3.4 Límites permisibles de toxicidad de metales pesados**

La contaminación química especialmente por metales pesados es una de las más peligrosas para los ecosistemas acuáticos, las especies presentes en ellos y los consumidores. Con base a normas vigentes se han definido las concentraciones de metales pesados en agua y en tejidos de peces, las cuales al superar el límite superior de estos valores implica un daño a la salud del consumidor.

A continuación en el cuadro No. 1 se enlistan los límites permisibles de metales pesados en peces y aguas naturales, los valores por arriba de éstos no son adecuados para consumo humano.

**Cuadro No. 1. Límites permisibles de metales pesados**

	Peces		Agua dulce
	BFL <sup>1</sup> (µg/g)	WHO <sup>2</sup> (µg/g)	EPA <sup>3</sup> (µg/L)
Cadmio (Cd)	---	0.01 – 1.04	0.25
Cobre (Cu)	30	---	----
Mercurio (Hg)	0.5	0.5	0.77
Níquel (Ni)	---	0.02 – 2.0	52
Plomo (Pb)	2.0	0.2 – 2.5	2.5
Zinc (Zn)	50	66	120

Fuente: (Reyes, 2007; OMS, 1996; EPA, 2009).

<sup>1</sup>**BFL** BrazilianFoodLegislation. Límites Máximos Permisibles (MPL) de Concentraciones de Metales Pesados en Tejido Muscular de Peces (Reyes, 2007).

<sup>2</sup>**OMS** Organización Mundial de la Salud. INCHEM. International Programme on Chemical Safety. EnvironmentalHealthCriteria. Límites Máximos Permisibles de Concentraciones de Metales Pesados (WHO, 1996). (Para consulta: <http://www.inchem.org/pages/ehc.html>)

<sup>3</sup>**EPA** EnvironmentalProtection Agency. USA. Criterios recomendados de Calidad de Agua para aguas Naturales (EPA, 2009). (Para consulta: <http://www.epa.gov/ost/criteria/wqctable/>). Anexo 1.

### **3.5 *Hydrilla verticillata***

En el año 2000, como resultado de un estudio orientado a evaluar los impactos del huracán “Mitch” se dio a conocer la presencia de la planta *Hydrilla verticillata* en el Lago de Izabal. En el 2002, se determinó de no sólo la presencia sino el incremento de la planta en el Lago Izabal.

*Hydrilla verticillata* es una planta perenne, sumergida, con tallos entre 7 y 9 metros de largo, muy ramificada, con hojas verticiladas que tienen espinas a lo largo de la vena central y en la base del peciolo presenta pequeñas hojas escamosas. Se reproduce por semillas, vástagos, tubérculos y por rizomas lo que la hace muy agresiva y eficiente en este aspecto (Pérez, *et al.* 2003).

La *Hydrilla* también se puede dispersar y reproducir por medio de los rizomas y estolones. También por propágulos llamados turiones y tubérculos. Los turiones son yemas producidas en las axilas de las hojas, miden entre 5 a 8 mm de largo, son verde-oscuro y parecen espinas. Los tubérculos son turiones de fondo y se forman a partir de los rizomas, son blanquecinos o amarillentos y miden entre 5 y 10 mm de largo. La latencia de los tubérculos puede durar varios años en los sedimentos, particularmente los de plantas dioicas. Los tubérculos de las plantas monoicas no se reportan con latencia (Pérez, *et al.* 2003).

Las aguas poco profundas (tal es el caso del Lago Izabal), son propicias para el crecimiento de *Hydrilla*. El dosel denso que produce *Hydrilla verticillata* limita la penetración de luz a especies de plantas nativas sumergidas que crecen más lentamente y a mayor profundidad, cambia las relaciones fitoplancton zooplancton ocasionando un agotamiento del oxígeno disuelto y la mortandad de peces.

Como efectos negativos de la expansión de la *Hydrilla verticillata* en el Lago de Izabal en donde la navegación de embarcaciones de diferentes calados, principalmente las tiburonerías, utilizadas para el transporte de pasajeros o

prácticas de pesca, que generalmente tienen 25 pies de eslora. A medida que se extiende el crecimiento de la *Hydrilla verticillata* la navegación se hace dificultosa debido a que su alta densidad y entrelazamiento hace que las ramas se enreden en las hélices e impiden su normal funcionamiento.

Por otra parte aunque inicialmente las masas de la planta pueden ser un hábitat para peces y aves se convierten rápidamente en masas densas, en donde la materia orgánica sumergida entra en proceso de putrefacción, con producción de gases y elevando la concentración de CO<sub>2</sub> y el pH, factores químicos que afectan la sobrevivencia y reducen la presencia de especies acuáticas, incluyendo plantas y animales (Pérez, *et al.* 2003).

Según la Asociación de Amigos del Lago Izabal (ASALI), algunos problemas que se están presentando y se pudieran agudizar por el crecimiento de *Hydrilla* son: aceleración en el proceso de eutrofización; pérdida de oxígeno disuelto; desplazamiento de flora y fauna nativa del área; limitaciones para la navegación y el transporte amenaza contra la integridad y estabilidad de este importante ecosistema acogido por la Convención RAMSAR; potencial de dispersión de la planta estimada en 17,115 hectáreas, lo que podría llegar a cubrir el 15% de la superficie lacustre; proliferación de mosquitos y zancudos vectores de enfermedades; impacto a la pesca por reducción de las poblaciones de peces y/o áreas de pesca; riesgo en la desaparición de actividades ecoturísticas; expansión de *Hydrilla verticillata* en todas las orillas del lago en un plazo de 3 años, y enraizamiento profundo de la planta estimado en un plazo de 10 años, ocasionando la pérdida paulatina de la profundidad del lago daño irreversible e irreparable al espejo de agua.

### **3.6 Agua**

El agua es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. Entre los usos que el humano le proporciona al agua se puede mencionar para consumo, aseo y limpieza en general. Se ha estimado que los humanos consumen

directamente o indirectamente alrededor de un 54% del agua dulce superficial disponible en el mundo. Este porcentaje se desglosa en:

- Un 20%, utilizado para mantener la fauna y la flora, para el transporte de bienes (barcos) y para la pesca, y
- el 34% restante, utilizado de la siguiente manera: el 70% en irrigación, un 20% en la industria y un 10% en las ciudades y los hogares.

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicas y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte (Guevara, 1995).

### **3.7 Almejas**

Las almejas son bivalvos que viven normalmente enterrados en la arena poco pedregosa de la zona intermareal. Se entierran en la arena o el lodo por medio de un pie musculoso en forma de hacha. Las almejas consiguen su alimento por filtración del agua ingerida por su sifón, que les permite vivir enterradas a una profundidad de 15 a 30 cm. Debido a su capacidad filtrante, pueden acumular en el interior de su organismo metales pesados provenientes de agua contaminada llegando a convertirse en una fuente de consumo peligrosa para la vida (PREPAC, 2005).

### **3.8 Peces**

En el caso de la absorción de metales pesados circulantes en el agua, los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos en comparación con la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación, pero también esto implica que su

consumo se puede convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso (Faialet.al.,2005; Mancera *et al.*, 2006).

### **3.9 Métodos de detección de metales pesados**

#### **3.9.1 Espectrometría**

La espectroscopia surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia como función de la longitud de onda ( $\lambda$ ). En un principio se refería al uso de la luz visible dispersada según su longitud de onda, por ejemplo por un prisma. Más tarde el concepto se amplió enormemente para comprender cualquier medida en función de la longitud de onda o de la frecuencia. Por tanto, la espectroscopia puede referirse a interacciones con partículas de radiación o a una respuesta a un campo alternante o frecuencia variante ( $\nu$ ). Una extensión adicional del alcance de la definición añadió la energía (E) como variable, al establecerse la relación  $E=h\nu$  para los fotones. Un gráfico de la respuesta como función de la longitud de onda (o más comúnmente la frecuencia) se conoce como espectro(Skoog, *et al.* 2005).

La espectrometría es la técnica espectroscópica para evaluar la concentración o la cantidad de especies determinadas. En estos casos, el instrumento que realiza tales medidas es un espectrómetro o espectrógrafo. La espectrometría a menudo se usa en física y química analítica para la identificación de sustancias mediante el espectro emitido o absorbido por las mismas (Skoog, *et al.* 2005).

##### **3.9.1.1 Métodos espectrométricos, según la naturaleza de la excitación medida**

El tipo de espectrometría depende de la cantidad física medida. Normalmente, la cantidad que se mide es una intensidad de energía absorbida o producida. Se pueden distinguir estos tipos de espectrometría según la naturaleza de la excitación en el cuadro No. 2.

## Cuadro No.2

### Clasificación de espectrometría según la naturaleza de la excitación

<b>Electromagnética</b>	Interacciones de la materia con radiación electromagnética como la luz.
<b>De electrones</b>	Interacciones con haces de electrones.
<b>De masa</b>	Interacción de especies cargadas con campos magnéticos y/o eléctricos, dando lugar a un espectro de masas.
<b>Acústica</b>	Frecuencia de sonido.
<b>Dieléctrica</b>	Frecuencia de un campo eléctrico externo.
<b>Mecánica</b>	Frecuencia de un estrés mecánico externo, por ejemplo una torsión aplicada a un trozo de material.

Fuente: Skoog, *et al.* 2005.

#### 3.9.1.2 Métodos espectrométricos, según el proceso de medida

La mayoría de los métodos espectroscópicos se diferencian en atómicos o moleculares según si se aplican a átomos o moléculas. Junto con esta diferencia, se pueden distinguir los siguientes tipos de espectrometría según la naturaleza de su interacción en el cuadro No. 3:

## Cuadro No. 3

### Clasificación de espectrometría según la naturaleza de su interacción

<b>De absorción</b>	Usa el rango de los espectros electromagnéticos en los cuales una sustancia absorbe. Incluye la espectrometría de absorción atómica y varias técnicas moleculares, como la espectrometría infrarroja y la resonancia magnética nuclear (RMN).
<b>De emisión</b>	Usa el rango de espectros electromagnéticos en los cuales una sustancia irradia (emite). La sustancia primero

	debe absorber la energía. Esta energía puede ser de una variedad de fuentes, que determina el nombre de la emisión subsiguiente, como la luminiscencia.
<b>De dispersión</b>	Mide la cantidad de luz que una sustancia dispersa en ciertas longitudes de onda, ángulos de incidencia y ángulos de polarización. El proceso de dispersión es mucho más rápido que el proceso de absorción/emisión.

Fuente: Skoog, *et al.* 2005.

### **3.9.1.3 Tipos de espectrometría**

#### **3.9.1.3.1 Espectrometría de absorción**

La espectrometría de absorción es una técnica en la cual la energía de un haz de luz se mide antes y después de la interacción con una muestra. Cuando se realiza con láser de diodo ajustable, se la conoce como espectroscopia de absorción con láser de diodo ajustable. También se combina a menudo con una técnica de modulación, como la espectrometría de modulación de longitud de onda, y de vez en cuando con la espectrometría de modulación de frecuencia a fin de reducir el ruido en el sistema (Skoog, *et al.* 2005).

#### **3.9.1.3.2 Espectrometría de fluorescencia**

La espectrometría de fluorescencia usa fotones de energía más elevada para excitar una muestra, que emitirá entonces fotones de inferior energía. Esta técnica se ha hecho popular en aplicaciones bioquímicas y médicas, y puede ser usada con microscopía confocal, transferencia de energía entre partículas fluorescentes, y visualización de la vida media de fluorescencia (Skoog, *et al.* 2005).

#### **3.9.1.3.3 Fluorescencia de rayos X**

Los espectros de rayos X característicos se excitan cuando se irradia una muestra con un haz de radiación X de longitud de onda suficientemente corta. Las intensidades de los rayos X fluorescentes resultantes son casi 1000 veces más bajas que la de un haz de rayos X obtenido por excitación directa con electrones.

El método de fluorescencia requiere de tubos de rayos X de alta intensidad, de unos detectores muy sensibles y se sistemas ópticos de rayos X adecuados(Skoog, *et al.* 2005).

La intensidad es un factor importante, puesto que afectará al tiempo que se necesitará para medir el espectro. Es necesario que sean detectados y recibidos un determinado número de cuantos en el detector para que el error estadístico de la medición se reduzca lo suficiente. La sensibilidad del análisis, contemplada como la concentración detectable más baja de un determinado elemento en la muestra, dependerá de la relación pico-radiación de fondo para las líneas espectrales. Se presentan pocos casos de interferencia espectral, debido a la relativa simplicidad de los espectros de rayos X (Skoog, *et al.* 2005).

Cuando se irradia con un haz de rayos X una muestra de composición desconocida, esta emitirá las radiaciones características de los elementos que la componen. Si podemos identificar la longitud de onda o energía de cada una de estas radiaciones características, podremos conocer los elementos que componen la muestra, y si podemos medir sus intensidades, podremos conocer sus respectivas concentraciones(Skoog, *et al.* 2005).

#### **3.9.1.3.3.1 Ventajas y desventajas**

Los espectros son relativamente sencillos, por lo que la interferencia de líneas espectrales es poco probable; por lo general no se destruye la muestra, y el tamaño de ésta puede variar desde una partícula apenas visible hasta objetos de tamaño considerable; se puede analizar múltiples elementos en pocos minutos; la exactitud y precisión es igual o superior a la de los demás métodos analíticos. Sin embargo presenta una serie de inconvenientes importantes, tales como que la sensibilidad no siempre es la requerida llegándose sólo a límites de detección del orden de partes por billón, que no es adecuada para el análisis de elementos de número atómico inferior a 23 y el coste del instrumento es muy elevado.

#### **3.9.1.3.4 Espectrometría de llama**

Las muestras de solución líquidas son aspiradas en un quemador o una combinación de nebulizador/quemador, desolvatadas, atomizadas, y a veces excitadas a un estado electrónico de energía más alta. El uso de una llama durante el análisis requiere combustible y oxidante, típicamente en forma de gases. Los gases combustibles comunes que se usan son el acetileno (etino) o el hidrógeno. Los gases de oxidante suelen ser el oxígeno, el aire, o el óxido nitroso. Estos métodos son a menudo capaces de analizar elementos metálicos en partes por millón, billones, o posiblemente rangos más bajos de concentración. Son necesarios detectores de luz para detectar la luz con información que viene de la llama (Skoog, *et al.* 2005).

#### **3.9.1.4 Aplicaciones**

- Control de calidad.
- Análisis medioambiental: aguas, sedimentos, suelos, aerosoles, material particulado, residuos, etc.
- Análisis de materiales: minerales, rocas, aleaciones, catalizadores, cerámicas, nuevos materiales, etc.
- Análisis biológicos: tejidos, fluidos, plantas, cultivos, etc.
- Análisis industrial: pinturas, pigmentos, hidrocarburos, aceites, vinos, cementos, vidrios, cenizas, etc.
- Análisis arqueológicos: cerámicas, monedas, utensilios, huesos, etc.
- Análisis forenses: análisis de micromuestras en cualquier tipo de matriz

#### **3.9.2 Voltamperometría**

El comienzo de la voltamperometría se vió facilitado por el descubrimiento de la polarografía en 1922 por el Premio Nobel de Química Jaroslav Heyrovský. Las primeras técnicas de voltamperométricas tuvieron muchos problemas, que limitaban su viabilidad para el uso diario en la química analítica. En 1942 Hickling construyó el primer potencióstato de tres electrodos. Los años 1960 y 1970 fueron testigos de muchos avances en la teoría, la instrumentación, y la introducción de

sistemas añadidos y controlados por computadoras. Estos avances mejoraron la sensibilidad y crearon nuevos métodos analíticos. La industria respondió con la producción más barata de potenciostatos, de electrodos, y de las celdas que podrían ser utilizados eficazmente en el trabajo analítico de rutina (Skoog, *et al.* 2005).

### **3.9.2.1 Sistema de tres electrodos**

Los experimentos de voltamperometría investigan la reactividad en la semicelda de un analito. La mayoría de los experimentos controlan el potencial (Voltios) de un electrodo en contacto con el analito, mientras que se mide la corriente resultante (Amperios) (Skoog, *et al.* 2005).

Para llevar a cabo un experimento se requieren al menos dos electrodos. El electrodo de trabajo, que hace contacto con el analito, debe aplicar el potencial deseado de una manera controlada y facilitar la transferencia de electrones desde y hacia el analito. Un segundo electrodo actúa como la otra semicelda. Este segundo electrodo debe tener un potencial conocido con el que medir el potencial del electrodo de trabajo, además, se deben equilibrar los electrones añadidos o eliminados por el electrodo de trabajo. Si bien esta es una configuración viable, tiene una serie de deficiencias. Más significativamente, es extremadamente difícil para un electrodo mantener un potencial constante mientras que pasa la corriente para hacer frente a los eventos redox del electrodo de trabajo (Skoog, *et al.* 2005).

Para resolver este problema, el papel de proveedor de electrones y el de potencial de referencia se ha dividido entre dos electrodos separados. El electrodo de referencia es una semicelda con un potencial de reducción de conocido. Su única función es actuar como referencia en la medición y controlar el potencial de los electrodos de trabajo y en ningún momento pasa ninguna corriente. El electrodo auxiliar pasa toda la corriente necesaria para equilibrar la corriente observada en el electrodo de trabajo. Para lograr esta corriente, el auxiliar a menudo oscila a los potenciales extremos en los bordes de la ventana de disolvente, donde se oxida o

reduce el solvente o electrolito de apoyo. Estos electrodos, el de trabajo, el de referencia, y el auxiliar constituyen el moderno sistema de tres electrodos (Skoog, *et al.* 2005).

Hay muchos sistemas que tienen más electrodos, pero sus principios de diseño son generalmente los mismos como el sistema de tres electrodos. Por ejemplo, el electrodo de disco-anillo rotatorio tiene dos electrodos de trabajo distintos y separados, un disco y un anillo, que puede usarse explorar o mantener potenciales independientemente uno del otro. Ambos electrodos están equilibrados por una simple combinación del de referencia y el auxiliar para formar un diseño de cuatro electrodos. Experimentos más complicados pueden añadir tantos electrodos de trabajo como se requiera y a veces electrodos de referencia y auxiliar.

En la práctica puede ser muy importante contar con un electrodo de trabajo con características de dimensiones y superficie conocidas. Como resultado de ello, es común limpiar y pulir los electrodos de trabajo con regularidad. El electrodo auxiliar puede ser casi cualquier cosa con tal que no reaccione con la mayor parte de la solución del analito y conduzca bien. El de referencia es el más complejo de los tres electrodos, se utilizan una variedad de estándares y que vale la pena investigar. Para trabajos no acuosos, la IUPAC recomienda el uso de la pareja ferroceno/ferrocenium como un estándar interno. En la mayoría de los experimentos de voltamperometría un electrolito inerte (también conocido como electrolito soporte) se utiliza para reducir al mínimo la resistencia de la solución. Puede ser posible realizar un experimento sin un electrolito soporte, pero la resistencia añadida enormemente reduce la exactitud de los resultados. En el caso de líquidos iónicos a temperatura ambiente iónico el disolvente puede actuar como electrolito(Skoog, *et al.* 2005).

### 3.9.2.2 Tipos de voltamperometría

- Voltamperometría de barrido lineal
- Voltamperometría escalonada
- Voltamperometría de onda cuadrada
- voltamperometría cíclica - Un método voltamétrico que se pueden utilizar para determinar los coeficientes de difusión y los potenciales de reducción de semiceldas.
- Voltamperometría de redisolución anódica – Un método de análisis cuantitativo para el análisis de trazas de cationes metálicos. El analito se deposita (electrolíticamente) sobre el electrodo de trabajo durante una etapa de deposición, y luego se oxida durante la etapa de extracción. La corriente se mide durante la etapa de extracción.
- Voltamperometría de redisolución catódica – Un método de análisis cuantitativo para el análisis de trazas de aniones. Cuando se aplica un potencial positivo, se produce la oxidación del electrodo de mercurio y la formación de precipitados insolubles de los aniones. Un potencial negativo reduce entonces (tiras) de la película (tiras) depositada en la solución.
- Voltamperometría de redisolución de adsorción – Un método de análisis cuantitativo para el análisis de trazas. El analito se deposita simplemente por adsorción en la superficie del electrodo (es decir, sin electrólisis), y luego se electroliza para dar la señal analítica. Se utilizan a menudo electrodos modificados químicamente.
- Voltamperometría de corriente alterna
- Polarografía – Una subclase de voltamperometría donde el electrodo de trabajo es un electrodo de gota de mercurio (DME), útil por su amplio rango catódico y superficie renovable.
- Voltamperometría de pulso normal
- Voltamperometría de pulso diferencial
- Cronoamperometría

### **3.9.2.3 Aplicaciones**

#### **3.9.2.3.1 Sensores voltamperométricos**

Comercialmente se producen un gran número de sistemas de voltamperométricos para la determinación de determinadas especies que son de interés en la industria y la investigación. Estos dispositivos se denominan a veces electrodos, pero son, de hecho, celdas voltamperométricas completas y son más conocidas como sensores(Skoog, *et al.* 2005).

#### **3.9.2.3.2 Electrodo de oxígeno**

La determinación del oxígeno disuelto en una variedad de entornos acuáticos, como el agua de mar, la sangre, las aguas residuales, los efluentes de plantas químicas, y los suelos es de enorme importancia para la industria, la investigación biomédica y del medio ambiente, y la medicina clínica. Uno de los métodos más comunes y convenientes para hacer estas mediciones es el sensor de Clark, que fue patentado por L.C. Clark, Jr. en 1956(Chang, 2007).

### **3.10 Área de estudio**

El lago de Izabal, es el lago más grande de Guatemala, con una superficie de 717 Km<sup>2</sup> y 12 metros de profundidad promedio, tiene como característica única en el país, su comunicación con el mar por medio del Río Dulce. Es alimentado principalmente por el río Polochic y otros afluentes de menor magnitud. Se encuentra ubicado entre los 15° 24´ y 15° 38´ latitud norte y 88° 58´ y 89° 25´ longitud oeste, a solamente pocos metros del nivel del mar, aunque su mayor volumen se encuentra bajo el nivel del mar (anexo 2).

La cuenca está limitada al norte por la Sierra de Chamá y Sierra de Santa Cruz y al sur por la Sierra de las Minas y las Montañas del Mico. El principal río tributario es el río Polochic, que a su vez recibe las aguas del río Cahabón, contribuyendo con cerca del 70% del volumen total del lago. Además, el Lago recibe contribuciones de agua de muchos otros ríos de la región (Velásquez, 1995).

El perímetro del lago se encuentra habitado por decenas de comunidades indígenas Maya Q'eqchi' las cuales dependen de la pesca y de las actividades agrícolas como parte integral de su alimentación, cultura y sustento (Velásquez, 1995).

Tanto el lago de Izabal como el río Dulce representan uno de los mayores sitios de atracción turística del país. La economía de la región se basa en gran medida en la industria turística que conlleva servicios de hotelería, servicios de transporte acuático y puntos de atraque.

#### **3.10.1 Fauna y Flora del lago de Izabal**

##### **3.10.1.1 Flora**

Selva tropical lluviosa, bosques húmedos del Atlántico de América Central, son árboles típicos las caobas (*Swieteniaspp.*), chicozpotes (*Manilkaraspp.*), caimitos,

San Juan, Santa María, corozo, ceiba, malagueto, danto, caxán, lagarto, llora sangre, catalox (PREPAC, 2005).

### **3.10.1.2 Fauna**

Se estima en más de 100 especies de peces los cuales forman parte del ecosistema que habitan el lago. El lago alberga diversas áreas protegidas como lo son el refugio de vida silvestre Bocas del Polochic, valioso ecosistema para el mantenimiento de la calidad del agua del lago y por ende en el mantenimiento de las pesquerías, el área de protección especial de Sierra de Santa Cruz, la reserva de la Biósfera de Sierra de las Minas, el Parque Nacional de Río Dulce, el Biotopo Chocón Machacas para la conservación del manatí y la Reserva Protectora de Manantiales Cerro San Gil (PREPAC, 2005).

Los humedales asociados al lago Izabal son importantes productores de especies utilizadas por las comunidades locales. Es además una importante vía de transporte para los pueblos asentados en sus orillas, hasta el mar Caribe. El valor de los bienes, recursos y servicios aportados por el lago Izabal revisten especial importancia si se considera que las poblaciones ubicadas en la cuenca del lago presentan el índice de desarrollo humano más bajo de Guatemala (PREPAC, 2005).

En el cuadro siguiente se presentan las especies de peces de interés comercial en el lago de Izabal.

**Cuadro No. 4**  
**Especies hidrobiológicas presentes en el lago de Izabal**

Nombre Científico	Nombre Común	Importancia comercial	
		Si	No
<i>Agonostomus monticola</i>	Tepemechín	X	
<i>Astyanax aeneus</i>	Pepesca	X	
<i>Centropomus ensiferus</i>	Robalito	X	
<i>Centropomus undecimalis</i>	Róbalo	X	
<i>Eugerres plumieri</i>	Palometa	X	
<i>Gobiomorus dormitor</i>	Guabina	X	
<i>Hexanemichthys guatemalensis</i>	Chunte Estrella, Juilín	X	
<i>Hexanemichthys seemanni</i>	Quixque	X	
<i>Megalops atlanticus</i>	Sábalo	X	
<i>Mugilcephalus</i>	Liseta	X	
<i>Oligoplites palometa</i>	Zapatera	X	
<i>Oreochromis niloticus niloticus</i>	Tilapia	X	
<i>Parachromis motaguensis</i>	Guapote Tigre	X	
<i>Poeciliagillii</i>	Pupo		X
<i>Pomadasys croceus</i>	Ronco	X	
<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Bagre	X	
<i>Vieja maculicauda</i>	Chombimba, Mojarra Roja	X	

Fuente: PREPAC, 2005.

### 3.11 Minería en Izabal

En el anexo No. 3 se pueden observar el tipo de minería que opera en Izabal, actualmente el Ministerio de Energía y Minas ha concedido un total de 22 licencias de exploración y 15 licencias de explotación.

### **3.11.1 Historia del níquel en Izabal**

Exmibal fue establecida en 1960 por la International Nickel Co. (INCO), al detectar níquel en un área al sur del lago de Izabal (Rosal, 2009).

Mediante un amplio programa de explotación, así como investigaciones de planta piloto, se confirmó el valor comercial de los yacimientos. La licencia de explotación fue otorgada por el Gobierno en 1965 y se continuó con el trabajo de investigación y desarrollo en planta piloto así como el trabajo de ingeniería y evaluación financiera (Rosal, 2009).

Exmibal ha identificado en sus tres concesiones mineras un recurso de más de 50 millones de toneladas de laterita niquelífera y saprolita, con grado promedio de 1.8% de Ni. Los depósitos de níquel laterítico de Exmibal están localizados en las playas norte y sur del lago de Izabal en el este de Guatemala. Aproximadamente dos tercios de los recursos de Exmibal están en los depósitos La Gloria, Manto 4 y Amate sobre el lado norte del lago de Izabal, dentro de 25 km del sitio de la planta. El otro tercio ocurre en los depósitos Cristina y Trincheras, los cuales están alrededor de 10 km tierra adentro de la playa sur del lago de Izabal y a 32 km en barcaza del sitio de la planta. Los recursos del lado norte del lago son más que adecuados para soportar operaciones a plena capacidad para la vida planeada de las facilidades existentes. Los recursos combinados en ambos lados del lago podrían soportar producción al doble o triple de la capacidad de la planta existente por un período de 20 años (Rosal, 2009).

Todas las operaciones mineras a la fecha han sido en el depósito La Gloria, donde han sido minadas aproximadamente un millón de toneladas de alimentación de planta, promediando 2.13% de Ni y 17.4% de Fe. En los planes de producción

anual de Exmibal, la mina fue programada para proporcionar alimentación con promedio de 2.1% Ni a la planta de proceso durante los cinco años iniciales de operaciones (Rosal, 2009).

### **3.11.2 Situación actual**

Los derechos de explotación de Exmibal se vencieron en el año 2005 y se están haciendo estudios para reiniciar operaciones. Muy probablemente se van a inclinar por otra tecnología distinta a la que utilizaron, porque ésta es muy intensiva en energía y debido a la operación es a base de derivados del petróleo, es muy cara actualmente (año 2004, el barril de petróleo ha alcanzado los US\$ 54). Al año 2007, Exmibal completó los requisitos para la licencia de explotación minera y la licencia ambiental para reconstruir la antigua planta. Faltan aún otras licencias ambientales (Rosal, 2009).

### **3.12 Estudios realizados anteriormente**

El estudio sobre "El Impacto de la Cuenca del Río Polochic Sobre la Integridad Biológica del Lago de Izabal", realizado por Dix (1,999), señala la importancia del ecosistema de Polochic como amortiguador de nutrientes y sedimentos que llegan al lago de Izabal. En el mismo estudio menciona que el lago de Izabal se encuentra en un proceso de eutrofización acelerada debido a los nutrientes y sedimentos durante los últimos 27 años.

Estudio que complementa la información generada por Dix (1,999) es el realizado por Herrera(1,999), en el cual define los indicadores biológicos de la "Calidad de Agua del Río Polochic y de la Integridad Biológica del Lago de Izabal".

De igual forma el estudio sobre la "Situación Actual de la Contaminación del Río Polochic y su Impacto en el Lago de Izabal" realizado por Pérez (1,999), señala que los niveles altos de amoníaco en casi todos los puntos de muestreo son el resultado de contaminación directa por aguas negras y demuestran también la situación crítica en términos de contaminación.

El informe final del estudio titulado “Contaminación Fisicoquímica y Bacteriológica del Río Dulce y Lago de Izabal” realizado por Pérez, *et al.* (2003) destaca las concentraciones de zinc, las cuales son relativamente elevadas para un cuerpo de agua, y menciona que este elemento puede presentar toxicidad a niveles mayores, por lo que se recomienda la observación de las tendencias de este elemento. El plomo no pudo determinarse en ninguna muestra, en vista de que el límite de detección no resultó suficiente para su determinación a niveles de traza, sin embargo, se estableció que no existe una contaminación elevada por parte de este metal. Además menciona las elevadas concentraciones de fósforo las cuales representan la principal amenaza para la aceleración del proceso de eutrofización del lago de Izabal y para la propagación de la planta acuática *Hydrilla verticillata*.

El estudio “Inventario, Identificación, Datos Biológicos e Indicadores Básicos de Ictiofauna en el Lago de Izabal y sus Tributarios, Aporte como Control Ambiental para Monitoreo del Impacto de la *Hydrilla verticillata* en el Área” realizado por Wer (2003), señala que el impacto de la *Hydrilla* sobre las poblaciones de peces hasta cierto punto favorece a la ictiofauna. Observándose que la familia de peces más favorecida fuera la de los Cíclidos (*Cichlidae*) o Mojarras, pues casi todas las especies presentes en el lago se reportaron reproduciéndose en los bancos de *Hydrilla*.

Los estudios de campo efectuados dejan entrever algunas especies que se están beneficiando con el brote de la *Hydrilla*, pero cómo estos cambios poblacionales afectarán las interacciones entre especies en todo el sistema. Se espera que algunas especies, desplacen a las que no se adapten o tarden en hacerlo.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país rico en recursos hídricos, entre los que se encuentran ríos y lagos con volumen suficiente para satisfacer las necesidades de agua potable por parte de la población y la demanda de la industria. Sin embargo, el 90% de las fuentes superficiales se encuentran contaminadas, lo cual ha incidido en que más de un 40% de la población no tenga acceso a agua potable.

Un elemento importante del por qué de la realización de este estudio es debido a que anteriormente se reportó la presencia de plomo, zinc y cobre en los tejidos de *Hydrilla verticillata*, por lo que estos metales pueden ingresar en la cadena trófica por medio de los organismos que los ingieran, lo que puede generar un proceso de bioacumulación de metales tóxicos (Pérez, 2003).

A través de esta investigación se pretende establecer las concentraciones de metales pesados Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn)) en muestras de agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago de Izabal, para poder determinar si éstos se encontraban en concentraciones entre los límites de referencia o por encima de ellos según las normas de Brazilian Food Legislation (BFL), Norma de los Criterios Recomendados para Calidad de Agua de la Environmental Protection Agency (EPA) y la Norma de Environmental Health Criteria de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Los resultados del estudio proporcionaron información que podría influir en las acciones del programa de los ambientes acuáticos del lago de Izabal y en la administración y planificación del manejo de la cuenca por autoridades ambientales de AMASURLI para gestionar medidas adecuadas, lo que a su vez beneficia a las comunidades aledañas a El Estor, Izabal.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los niveles de contaminación por metales pesados en peces, almejas, *Hydrilla verticillata* y agua del lago de Izabal.

### 5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5.2.1 Determinar la concentración de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn) en muestras de agua, peces, almejas e *H. verticillata* del lago de Izabal.

5.2.2 Determinar si las concentraciones de metales pesados (As, Cd, Hg, Pb, Cr, Ni, Cu, Zn) son indicativos de contaminación en peces, almejas, *Hydrilla verticillata* y agua del lago de Izabal según las normas de Brazilian Food Legislation (BFL), Norma de los Criterios Recomendados para Calidad de Agua de la Environmental Protection Agency (EPA) y la Norma de Environmental Health Criteria de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

## **6. HIPÓTESIS**

La presente investigación es de carácter descriptivo, por lo que no aplica el planteamiento de una hipótesis.

## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Universo de trabajo

#### 7.1.1 Población

La población de estudio estuvo representada por el agua, los peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago de Izabal.

#### 7.1.2 Muestra

Se colectó una muestra de agua, pez, almejas e *Hydrilla verticillata* en cada uno de los puntos de muestreo donde fue posible la recolecta de las mismas, dichos puntos de muestreo fueron diez en total y éstos fueron establecidos en el viaje de reconocimiento a El Estor, lago de Izabal.

#### 7.1.3 Descripción del área de muestreo

La región de El Estor se encuentra en el departamento de Izabal a sólo 43 km de Río Dulce y a 305 km de la Ciudad de Guatemala en la costa noreste del lago del mismo nombre. La extensión territorial del municipio es de 2.896 kilómetros cuadrados. La población en su mayoría es de raza indígena Q'eqchi' y se puede observar una mezcla de razas, su población asciende a 35,461 habitantes a nivel de todo el municipio (Velásquez, 1995).

El Polochic es el río más grande que drena el valle de su mismo nombre y se extiende desde las Verapaces en el centro de Guatemala hasta el Lago de Izabal.

Se eligió esta área para muestreo debido a la extensión de la comunidad y a la cercanía con el río Polochic el cual, es el principal afluente del lago y que durante la temporada de lluvias el Río Polochic lleva mucho lodo y mantillo (Velásquez, 1995).

Además se seleccionó esta área de muestreo por el efecto negativo que podría ocasionar a las comunidades cercanas de encontrarse concentraciones elevadas de metales pesados y por las posibilidades de encontrar mayores niveles de contaminación en la desembocadura del río Polochic al lago.

En la tabla 1 se presentan los puntos de muestreos georreferenciados y el tipo de muestra colectada.

Tabla 1  
Ubicación de puntos de muestreo y tipo de muestra colectada

Punto No.	N	W	Muestras colectadas
1.Finca San Julián	15°32.604´	89°20.827´	Agua y almejas
2.Municipalidad	15°31.375´	89°20.031´	Agua y almejas
3.Muelle gasolinera	15°31.342´	89°20.285´	Agua e <i>H. verticillata</i>
4.Paz	15°31.214´	89°20.550´	Agua, almeja e <i>H. verticillata</i>
5.Faro Ixmibal	15°31.097´	89°21.267´	Agua
6.	15°31.15´	89°21.398´	Agua
7	15°30.635´	89°22.083´	Agua
8	15°30.195´	89°22.639´	Agua
9.Salidas Bocas del Polochic	15°29.277´	89°21.916´	Agua
10. Río Polochic	15°28.657´	89°22.069´	Agua

Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

#### 7.1.4 Muestreo

Se tomaron muestras de peces nativos del lago, almejas, agua y de la planta *Hydrilla verticillata*. Debido a que el presente estudio se trata de una investigación preliminar, el número de muestras no fue representativo del lago. Se realizó un viaje de reconocimiento del área de muestreo en el cual se determinaron los

puntos de muestreo (mapa del lago de Izabal anexo 4) y posteriormente se realizaron dos viajes para recolección de muestras.

Los puntos destinados para muestreo se encuentran cercanas a la comunidad de El Estor y el río Polochic. Se seleccionaron diez puntos de muestreo según la presencia de poblaciones humanas las cuales podrían representar fuentes de contaminación del lago. Los criterios para la selección fueron: la ubicación de comunidades en el área, la ubicación de fuentes potenciales de contaminación por hidrocarburos (oleoducto, gasolineras), afluentes, según las actividades que se realicen en el área de donde provienen.

Las muestras fueron transportadas en hieleras a 4 °C para su conservación y traslado al laboratorio de la Unidad de Análisis Instrumental de la Facultad de Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## **7.2 Procedimiento**

### **7.2.1 Recolección y transporte de muestras**

#### **7.2.1.1 Agua**

El área de muestreo fue El Estor y en ésta área se seleccionaron diez puntos de muestreo los cuales fueron elegidos en un viaje de reconocimiento del área previo a la toma de muestras. Cada punto de muestreo representó una muestra de agua.

Se utilizaron recipientes de plástico de 600 ml de capacidad, para la toma de muestra los cuales debieron tratarse con permanganato potásico y ácido sulfúrico, y después con agua destilada hasta la eliminación total de la acidez (anexo 5, tabla 2).

Los recipientes que se utilizaron para el transporte de las muestras de agua permanecieron cerrados hasta el momento de la toma de la muestra. Una vez elegido el lugar de muestreo, se abrió el recipiente y rápidamente se introdujo en

el agua contra corriente. En casos que no había corriente se movió horizontalmente. En el momento de la toma de muestra, los envases se enjuagaron varias veces con el agua a analizar y después se llenaron completamente sin dejar cámara de aire.

Las muestras se conservaron a baja temperatura (4°C) mediante el uso de hieleras durante el transporte hacia el laboratorio hasta la realización del análisis, el cual se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **7.2.1.2 Peces**

Se recolectaron diez peces de la especie *Vieja maculicauda*, cada uno de ellos representó una muestra independiente. Los peces fueron comprados directamente a los pescadores que se observaron pescando en los alrededores de los sitios de muestreo seleccionadas en el viaje de reconocimiento del área de estudio.

Los peces fueron almacenados en bolsas ziploc y transportados en hielera con una cantidad suficiente de hielo para garantizar la conservación de las muestras durante su traslado al laboratorio de Análisis Instrumental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Las especies de peces obtenidas en la recolecta fueron identificadas con el apoyo de Ing. Pedro Julio García Coordinador del Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura (anexo 12).

#### **7.2.1.3 Almejas**

Las muestras de almejas fueron capturadas donde se encontró presencia de las mismas y donde la profundidad permitió su captura, por lo que solamente fue posible la recolección en tres puntos.

Las almejas fueron almacenadas en bolsas ziploc y transportadas en hielera con una cantidad suficiente de hielo para garantizar la conservación de las muestras durante su traslado al laboratorio de en el laboratorio de Análisis Instrumental de la escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **7.2.1.4 *Hydrilla verticillata***

Las muestras colectadas fueron de 200 gramos aproximadamente para cada sitio de muestreo. De los diez sitios elegidos para muestrear solamente en dos puntos hubo presencia de *H. verticillata*, las cuales fueron recolectadas manualmente de la superficie del lago de Izabal. Posteriormente a esto las muestras fueron almacenadas en bolsas ziploc y trasportadas en hieleras.

Las muestras colectadas fueron llevadas al herbario de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia para su identificación botánica, en el cual se contó con el apoyo de la Licda. Roselvira Barillas Jefa del Departamento de Botánica, recursos naturales renovables y conservación (anexo 13).

Posteriormente, fueron analizadas en el laboratorio de Análisis Instrumental de la escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **7.2.2 Procesamiento de las muestras**

#### **7.2.2.1 Agua**

Cada muestra de agua fue analizada independientemente constituyendo un total de diez muestras a analizar. Las muestras de agua no necesitaron tratamiento previo a la cuantificación de metales pesados por el equipo de Fluorescencia de Rayos X. La marcha analítica se observa en el anexo 6.

#### **7.2.2.2 Peces**

Los peces colectados tuvieron en promedio una longitud de 7 centímetros; para la preparación de la muestra esta se evisceró, evitando que se contaminara el músculo con las vísceras. El músculo del pez se fraccionó debido a que esta parte del pez es la consumida por el ser humano y en donde se corre el riesgo de intoxicación. Se eliminaron en la medida de lo posible, las escamas, piel, espinas no comestibles, cola, aletas y cabeza.

Para la preparación de la muestra destinada al análisis se dispuso de al menos 5 g de músculo del pez el cual se utilizó para realizar el análisis. Durante el lavado de la muestra, con el fin de evitar la contaminación con agua de grifo, se utilizó el aclarado final con agua des ionizada.

El procedimiento utilizado para la determinación de metales pesados se puede observar en el anexo 7.

#### **7.2.2.3 Almejas**

Todas las almejas se limpiaron previo al análisis de laboratorio con agua destilada para eliminar los restos de arena y otras materias extrañas que puedan contener. El líquido intervalvar se eliminó dejando escurrir los bivalvos sobre los bordes ventrales durante 3 minutos.

La muestra a analizar de cada almeja lo constituyó la parte interna de la misma. La marcha analítica se puede observar en el anexo 8.

#### **7.2.2.4 *Hydrilla verticillata***

Para el análisis en el laboratorio cada muestra de *Hydrilla verticillata* deberá secarse en horno durante siete días para que posteriormente se pueda iniciar el análisis. La marcha analítica se puede observar en el anexo 9.

### **7.3 Determinación de metales pesados**

Los metales pesados fueron analizados en las muestras de agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X; el equipo de análisis fue facilitado por el Departamento de Fisicoquímica de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Se utilizó esta metodología tomando en cuenta las ventajas que proporciona la misma como lo son: espectros relativamente sencillos de interpretar, exactitud y precisión igual o superior a la de los demás métodos analíticos y resultados de análisis multielemental en pocos minutos.

Se contó con la asesoría del Lic. Eduardo Robles del departamento de Análisis Instrumental de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala para la interpretación de los resultados brindados por el equipo de análisis.

### **7.4 Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es de tipo descriptivo debido a que el número de muestras recolectadas no fue representativo del universo de trabajo por lo que se eligieron por conveniencia los puntos de muestreo, los cuales fueron localizados a través de sistema GPS (modelo GPS MAP 76S, GARMIN).

### **7.5 Recolección de información**

La localización de los sitios de muestreo se llevó a cabo mediante el uso de sistema GPS (modelo GPS MAP 76S, GARMIN). La información y resultados se recolectaron en fichas (anexo 10 y11) donde se especificó el tipo de muestra, hora y lugar donde fue obtenida la muestra y la especie de la muestra en caso de peces.

## **7.6 Análisis de resultados**

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva (tablas de promedios y desviación estándar y gráficas de Tukey) para la estimación de la media poblacional para la comparación con estándares internacionales de Brazilian Food Legislation (BFL), Norma de los Criterios Recomendados para Calidad de Agua de la Environmental Protection Agency (EPA) y la Norma de Environmental Health Criteria de la Organización Mundial de la Salud(OMS) sobre la concentración permisible para mantos acuíferos.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Metales pesados

#### 8.1.1 Metales pesados en tejido muscular de peces

La contaminación química en especial por metales pesados, constituye uno de los tipos de contaminación más peligrosas para los ecosistemas acuáticos y para las especies presentes en ellos. El contenido de metales pesados en las diferentes especies de peces depende de su posición en la cadena trófica y de sus hábitos alimenticios (Mancera - Rodríguez, 2006).

Se colectó un total de diez peces. El análisis de metales pesados en secciones del tejido muscular del pez Chumbimba (*Vieja maculicauda*) mostró que no existe bioacumulación considerable en los peces colectados.

Los valores promedio de concentración ( $\mu\text{g/g}$ ) en tejido muscular de zinc, estroncio, níquel y arsénico fueron 0.53 ( $\pm 0.77$ ), 0.17 ( $\pm 0.09$ ), 0.59 ( $\pm 0.69$ ) y 0.01 ( $\pm 0.01$ ) respectivamente.

El orden de los valores promedio de concentración fueron níquel >zinc >estroncio>arsénico.

Las concentraciones de zinc y níquel en los peces colectados se encuentran por debajo de los límites establecidos por la Brazilian Food Legislation - BFL - y por la World Health Organization - WHO – (página 10 Cuadro No. 1. Límites permisibles de metales pesados), por lo que se encuentran entre lo permisible para consumo humano.

La determinación química de metales pesados se realizó por duplicado y el promedio de estas dos mediciones se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 2. Contenido de metales pesados en tejido muscular de Chumbimba

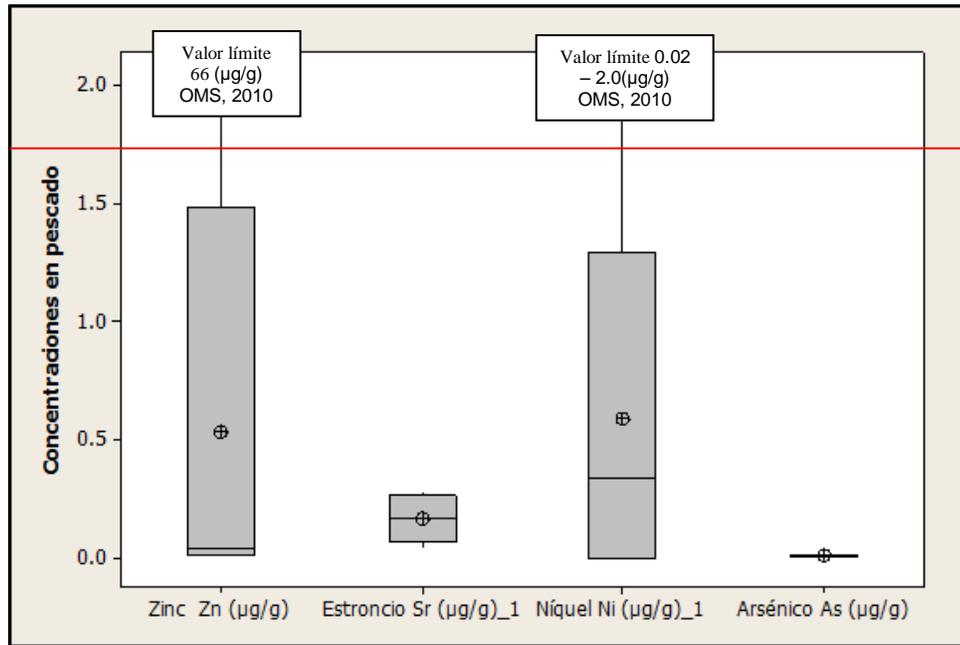
<b>Pescado</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>Zinc Zn (µg/g)</b>	<b>Estroncio Sr (µg/g)</b>	<b>Níquel Ni (µg/g)</b>	<b>Arsénico As (µg/g)</b>
P1	1.6055	0.1829	1.8471	ND
P2	0.1329	0.2790	ND	ND
P3	0.0557	0.0762	ND	ND
P4	0.0245	0.0512	0.0019	0.0048
P5	0.0169	ND	ND	ND
P6	0.0162	ND	0.0028	0.0174
P7	0.0171	ND	ND	0.0140
P8	0.0131	ND	ND	ND
P9	1.4466	0.2615	0.7528	ND
P10	2.0205	0.1529	0.3395	ND
<b>Promedio</b>	0.5349	0.1673	0.5888	0.0121
<b>Desviación estándar</b>	0.8106	0.0934	0.7681	0.0065
<b>Valor permisible (OMS)</b>	66	-----	0.02 – 2.0	-----

Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

P: Pescado ND: No detectado

En la tabla 2 se presentan las concentraciones determinadas por medio del equipo de fluorescencia de rayos x de los metales zinc, estroncio, níquel y arsénico. Observándose presencia de zinc en las diez muestras analizadas, no así para el resto de los metales. Las concentraciones obtenidas son permisibles para la OMS.

Gráfica 1. Dispersión de concentraciones de zinc, estroncio, níquel y arsénico en muestras de pescados del lago de Izabal



Fuente: Datos experimentales.

La gráfica 1 muestra a los peces analizados los cuales presentaron concentraciones de estroncio con poca variabilidad. Se observa mayor variabilidad en las concentraciones de zinc y níquel. Los datos de concentración más uniformes los presenta el zinc y níquel. Ninguno de los valores determinados sobrepasó el valor límite superior. Por lo que los individuos colectados presentaron concentraciones de metales que no representan toxicidad para el consumo humano.

### 8.1.2 Metales pesados en muestras de agua

Las concentraciones de níquel y zinc se encuentran en los límites permisibles por la Environmental Protection Agency (EPA).

Tabla 3. Contenido de metales pesados en muestras de agua

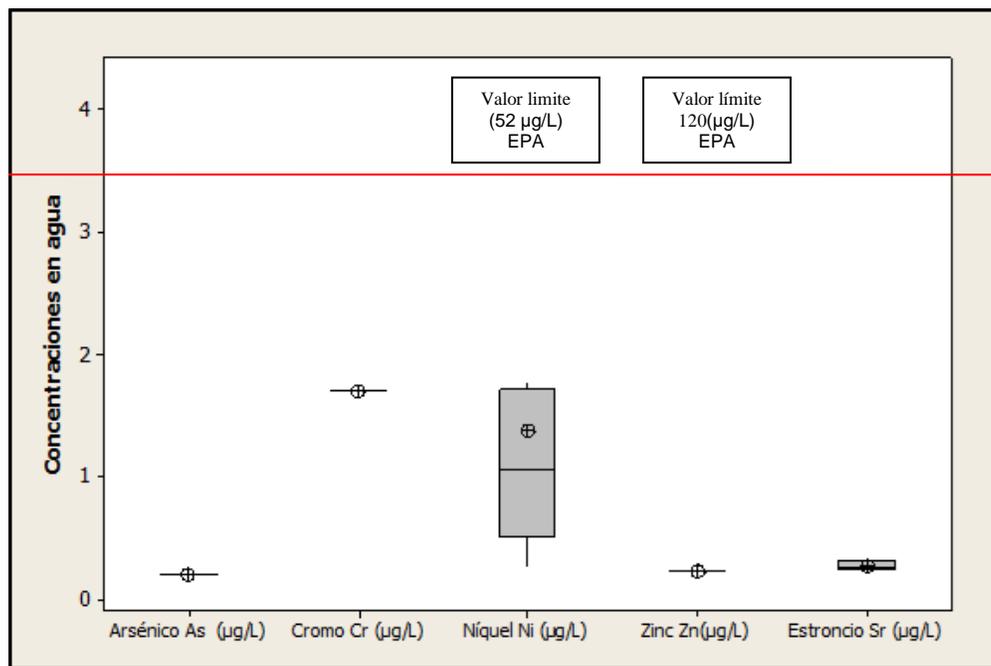
Agua					
MUESTRA	Arsénico As (µg/L)	Cromo Cr (µg/L)	Níquel Ni (µg/L)	Zinc Zn(µg/L)	Estroncio Sr (µg/L)
A1	ND	ND	ND	ND	ND
A2	ND	ND	1.7755	ND	ND
A3	ND	ND	0.2835	ND	0.2501
A4	ND	ND	ND	ND	0.2820
A5	ND	ND	1.4016	ND	ND
A6	ND	ND	1.5708	ND	ND
A7	0.2145	ND	0.7144	ND	0.2484
A8	ND	ND	0.4634	ND	ND
A9	ND	1.7109	4.188	ND	ND
A10	ND	ND	0.6873	0.2457	0.3482
<b>Promedio</b>	0.2145	1.7109	1.3856	0.2457	0.2822
<b>Desviación estándar</b>	0.0000	0.0000	1.2523	0.0000	0.1481
<b>Valor permisible (EPA)</b>	-----	-----	52	120	-----

Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

ND. No detectado.

La mayoría de muestras de agua presentaron concentraciones de arsénico, cromo y zinc por debajo del límite de detección del equipo de Fluorescencia de Rayos X, al encontrarse por debajo del valor recomendado por EPA significa que el agua no representa riesgo de toxicidad en los puntos de muestreo durante la colecta.

Gráfica 2. Dispersión de concentraciones de arsénico, cromo, níquel, zinc y estroncio en muestras de agua colectadas del lago de Izabal.



Fuente: Datos experimentales.

El metal que presentó variabilidad en las mediciones realizadas fue el níquel, para el caso del arsénico, cromo y zinc se detectó solamente en una muestra diferente para cada uno de ellos.

### 8.1.3 Metales pesados en muestras de almejas

Se logró coleccionar almejas en tres de los diez puntos de muestreo, con las cuales se prepararon tres muestras compuestas para la determinación de metales pesados.

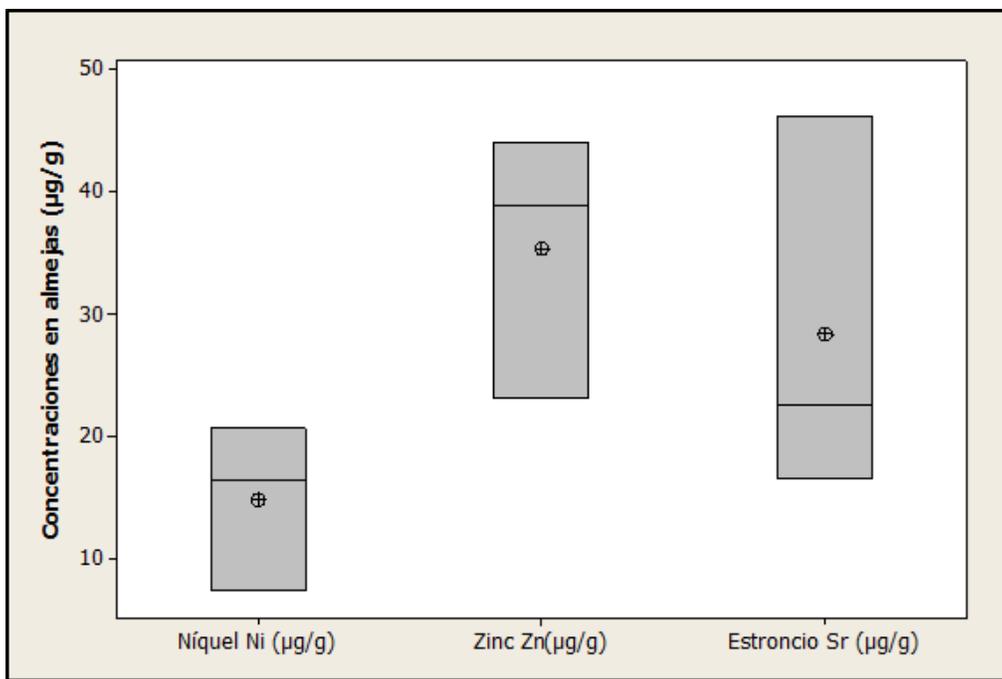
Las muestras compuestas de almejas presentaron los siguientes valores promedio de concentraciones ( $\mu\text{g/g}$ ) de níquel, zinc y estroncio fueron de 14.83 ( $\pm 5.51$ ), 35.38 ( $\pm 8.91$ ) y 28.38 ( $\pm 12.79$ ) respectivamente. El orden de los valores promedio de concentración fueron zinc >estroncio> níquel, así como se observa en la tabla 4.

Tabla 4. Contenido de metales pesados en muestras de almejas.

Almejas			
MUESTRA	Níquel Ni ( $\mu\text{g/g}$ )	Zinc Zn( $\mu\text{g/g}$ )	Estroncio Sr ( $\mu\text{g/g}$ )
Alm1	16.4003	44.1143	46.1548
Alm2	7.4472	38.8961	16.5261
Alm3	20.6436	23.1467	22.4731
<b>Promedio</b>	14.8304	35.3857	28.3847
<b>Desviación estándar</b>	6.7368	10.9157	15.6740

Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

Gráfica 3. Dispersión de concentraciones de níquel, zinc y estroncio en muestras de almejas del lago de Izabal.



Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

En la gráfica 3 se observa que el metal que presenta mayor dispersión es el estroncio. En el caso del zinc fue el metal que se determinó con valores de concentración alto, en comparación del níquel y estroncio.

#### 8.1.4 Metales pesados en muestras de *Hydrilla verticillata*

En la ruta de muestreo solamente en dos puntos de halló crecimiento de *H. verticillata*. Se determinó arsénico (muestra 2), níquel, zinc (muestra 1) y estroncio (tabla 5).

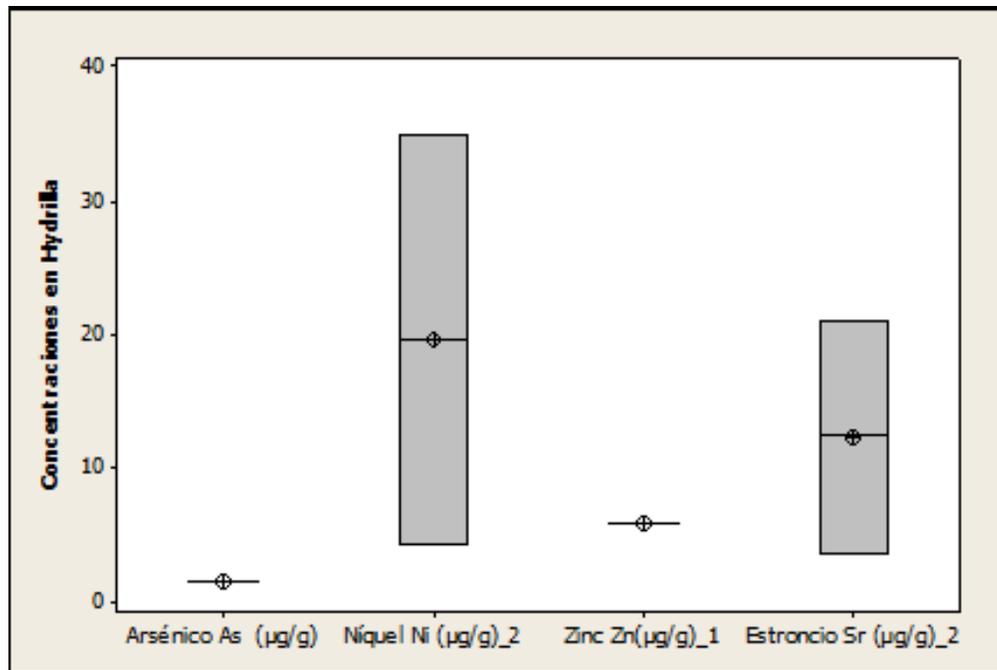
Tabla 5. Contenido de metales pesados en muestras de *H. verticillata*

<i>Hydrilla verticillata</i>				
MUESTRA	Arsénico As ( $\mu\text{g/g}$ )	Níquel Ni ( $\mu\text{g/g}$ )	Zinc Zn( $\mu\text{g/g}$ )	Estroncio Sr ( $\mu\text{g/g}$ )
H1	ND	34.9902	5.9405	3.588
H2	1.5039	4.3369	ND	21.0386
Promedio	1.5039	19.6636	5.9405	12.3133
Desviación estándar	0.0000	21.6751	0.0000	12.3394

Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

ND: No detectado

Gráfica 4. Dispersión de concentraciones de arsénico, níquel, zinc y estroncio en muestras de *Hydrilla verticillata* del lago de Izabal.



Fuente: Datos experimentales. A. Boy. 2013

En la gráfica 4 se observa que el níquel presentó mayor dispersión respecto a los demás metales analizados. El arsénico y zinc no presentaron variación, ya que solamente se obtuvo una lectura en las dos muestras colectadas (arsénico para la muestra uno y zinc para la muestra dos).

## 9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 9.1 Metales pesados en tejido muscular de peces

Los peces tienen una alta capacidad de almacenar sustancias químicas en su organismo en comparación con la presente en el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación. Esto implica también que su consumo se pueda convertir en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso.

Se realizó la determinación de zinc, estroncio, níquel y arsénico; observándose mayor concentración de níquel y estroncio, aunque en ninguno de los dos casos se llegó al límite superior de los valores permisibles establecidos por la OMS (tabla 2). Por lo que no representa riesgo de contaminación.

No se pudo determinar si las concentraciones de metales pesados en tejido muscular de los peces de especie *Vieja maculicauda* son diferentes en la época de lluvia y en la época seca, debido a que las muestras colectadas corresponden a una sola época.

### 9.2 Metales pesados en muestras de agua

Las muestras de agua fueron colectadas en la periferia de El Estor hasta llegar a Bocas del Polochic en puntos donde se pudo observar la actividad doméstica que realiza la comunidad.

Se determinó que los niveles de zinc y níquel son permisibles para aguas naturales (tabla 3) según la Environmental Protection Agency (EPA), por lo que no representan riesgo ecológico y pueden considerarse como los niveles de línea base para futuros estudios de estos metales en el área de El Estor.

### **9.3 Metales pesados en muestras de almejas**

Las almejas tienen la capacidad de actuar como filtradoras del agua ingerida, debido a esta capacidad pueden acumular en el interior de su organismo metales pesados provenientes de agua contaminada llegando a convertirse en una fuente de consumo peligrosa para la vida (PREPAC, 2005).

Se colectaron un total de 60 almejas en tres puntos donde fue posible realizar la captura debido al acceso. Por cada grupo capturado de almejas se realizó un pool (conjunto de varias muestras de un mismo tipo para realizar un análisis de forma conjunta) el cual fue tratado químicamente y analizado posteriormente mediante espectrofotometría de fluorescencia de rayos X.

Los datos obtenidos demuestran presencia de zinc, estroncio y níquel (en orden decreciente). Se consultó la Norma Oficial Mexicana (NOM-031-SSA1-1996, bienes y servicios de la pesca, moluscos y bivalvos frescos-refrigerados y congelados) en la cual se presentan los valores permisibles de metales pesados, específicamente plomo, cadmio y mercurio no se citan valores permisibles para los metales que fueron detectados. Se consultó la Norma Europea (contenido máximo en metales pesados en productos alimenticios revisión octubre 2013), en la cual se citan otros valores permisibles en bivalvos de los metales plomo y cadmio, en esta norma no se citan el níquel, zinc y estroncio que fueron los metales encontrados en las muestras analizadas.

Al analizar los resultados obtenidos en las almejas y comparando con los resultados obtenidos en el análisis de pescados, se determina que existe contaminación por níquel sobrepasando el límite permisible para la norma de World Health Organization - WHO -, por el contrario las concentraciones determinadas de zinc no representan alguna toxicidad.

Con respecto al níquel por ser considerado como un elemento esencial en la dieta tanto de animales como del ser humano, no existe ninguna normativa que establezca un límite para la concentración de este elemento en organismos.

#### **9.4 Metales pesados en muestras de *Hydrilla verticillata***

De los diez puntos que se tomaron para colección de muestras, únicamente en dos de ellos (punto tres y cuatro) se encontró presencia de *H. verticillata*. La planta fue colectada y transportada a la Universidad de San Carlos en donde en la Escuela de Biología fue confirmado el género y especie de esta planta (anexo 13).

El análisis de ambas muestras reveló la presencia de níquel en una concentración promedio de 19.66 µg/g y de estroncio en concentración promedio de 12.31 µg/g. Para el caso del zinc, este metal fue determinado únicamente en la muestra uno de *H. verticillata* (corresponde al punto de muestreo 3, muelle de gasolinera) hallándose una concentración de 5.94 µg/g. Por el contrario, en el caso del arsénico éste se determinó únicamente en la muestra dos de *Hydrilla verticillata* (correspondiente al punto de muestreo 4), hallándose una concentración de 1.50 µg/g.

La Cuenca del lago de Izabal y Río Dulce tiene un potencial minero muy alto, principalmente en cuanto a minerales metálicos, tales como: níquel, cobalto, cromo, platino y otros. Los minerales no metálicos también son importantes en el área, presentándose, principalmente, arenas silíceas, caliza, dolomita y magnesita. El metal de mayor concentración fue el zinc. (tabla 5).

No fue posible realizar la cuantificación de mercurio debido que durante el proceso de preparación de las muestras éstas fueron tratadas en muflas, al exponerse las muestras a altas temperaturas el mercurio que pudiera estar presente se volatiliza.

## 10. CONCLUSIONES

- 10.1 Las concentraciones de estroncio, arsénico, níquel y zinc en los peces colectados se encuentran entre lo permisible para consumo humano, según los límites establecidos por la World Health Organization - WHO - y por la Brazilian Food Legislation - BFL -.
- 10.2 Las concentraciones de níquel y zinc en las muestras de agua colectadas se encuentran entre lo permisible para agua dulce según lo indican los límites establecidos Environmental Protection Agency – EPA-
- 10.3 En el análisis de almejas, se determinó la presencia de níquel, zinc y estroncio. Al no existir normas internacionales que indiquen límites permisibles de concentraciones para estos metales, se realizó el análisis con las normas internacionales para pescados. Se determina siguiendo este criterio, contaminación de las almejas con níquel.
- 10.4 No se logró determinar si las concentraciones de níquel, zinc y estroncio determinadas en almejas son dañinas al consumo humano ya que las normas internacionales consultadas (Norma oficial mexicana y de la Unión Europea) no incluyen valores de referencia para estos metales.
- 10.5 En las muestras analizadas de *H. verticillata* se determinó la presencia de níquel y estroncio, esto como consecuencia de la absorción de esos metales, los cuales son característicos de la cuenca del lago de Izabal y Río Dulce. Además se determinó la presencia de zinc en la muestra uno y arsénico en la muestra dos.

## 11.RECOMENDACIONES

- 11.1 Analizar en otros comportamientos ambientales el nivel bioacumulación de metales pesados, para tener un mayor conocimiento de la dinámica de estas sustancias en los cuerpos de agua.
- 11.2 Evaluar otros parámetros de calidad fisicoquímica en el lago de Izabal para establecer medidas que permitan comprender e interpretar mejor la situación actual.
- 11.3 Analizar sedimentos en donde posiblemente se halle una mayor concentración de metales pesados ya que el agua actúa como un diluyente y así poder comparar los datos obtenidos de agua vrs sedimento del mismo punto de muestreo.
- 11.4 Analizar parámetros como pH, dureza del agua y materia orgánica, ya que estos factores afectan en la acumulación y disponibilidad de metales pesados en el ambiente acuático.

## 12. REFERENCIAS

Basterrechea, C.; Pérez, A.; González, M.; Rodríguez, F. y Alfayate, J. 2003 Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química. Thomson Editores Spain. España. Pág. 31 – 293.

Calderón, C. 1997. Serie Autodidacta en Materia de Normas Técnicas Relacionadas con la Inspección y Verificación. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.

Chang, R. 2007. Química. Editorial Interamericana McGraw Hill. México.

Dix, A.; M. Maldonado, M.A. Dix, O. de Bocaletti, R. Girón, I. de la Roca, A.C. Bailey, K. Herrera, J. F. Pérez, K. Piérola y G. Rivera. 1999. El impacto de la cuenca del Río Polochic sobre la integridad biológica del lago de Izabal. Centro de Estudios Ambientales, Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 148 pp.

Dekker, M. 1992. Heavy metals. In: Toxic metal chemistry in marine environments. SADIQ. New York. 390 pp.

EPA. 2009. Environmental Protection Agency. National Recommended Water Quality Criteria. Priority Pollutants. USA. Pág. 22

Faial, K., Brabo, E., Lima, M., Santos, E., Jesús, I., Méndez, R. y Mascarenhas, A. 2005. Correlation between the selenium and mercury levels in fish of the State of Acre, Amazonian, Brazil. XIII International Conference on Heavy Metals in the Environment. Ichmet. Río de Janeiro CETEM/MTC.

Guevara, J. 1995. Toxicología médica clínica y laboratorio. Editorial Interamericana McGraw Hill. España. 737 pp.

Järup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin. Gran Bretaña. Pág. 167 – 182.

Katzung, B. 2001. Farmacología básica. Editorial Manual Moderno. México. 1271 pp.

Herrera, K. 1999. Indicadores biológicos de la calidad del agua del río Polochic y de la integridad biológica del lago de Izabal. Tesis de Maestría en estudios ambientales. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 95 pp.

Mancera – Rodríguez, N. y Álvarez – León, R. 2006. Estado de conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces de dulceacuícolas de Colombia. Acta Biológica Colombiana. Vol. 11. No. 1 Pág. 3 – 23.

Rosal, O. 2009. Resumen, historia del níquel. Recursos minerales y geología. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas. 6 pp.

Pérez, F., Herrera, K., Martínez, M., Larrazabal, L., Ruano, R., Torres, R., Mansilla, W., García, P. y Villagrán, E. 2003. Informe Final *Hydrilla verticillata* L.F. (Royle). Universidad de San Carlos de Guatemala. 40 pp.

Pérez, F. 1999. Situación actual de la contaminación del río Polochic y su impacto en el lago de Izabal. Tesis de Maestría en estudios ambientales. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala. 75 pp.

Pérez, F., Oliva, B., Herrera, K., Barillas, S., Bol, H., Galindo, C. y Killmann, K. 2003. Contaminación fisicoquímica y bacteriológica del río Dulce y lago de Izabal.

Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala. 124 pp.

Plan Regional de Pesca y Acuicultura Continental (PREPAC). 2005. Inventario de cuerpos de aguas continentales de Guatemala con énfasis en la pesca y la acuicultura. Guatemala: MAGA. 878 pp.

Reyes Morales, Elsa María de Fátima. 2007. Evaluación de la contaminación del pez blanco en tejido muscular y su relación con los niveles de calidad de agua del lago Petén Itzá, Guatemala. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. 85 pp.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquía, Colombia. Pág. 527.

Skoog, D.; West, D.; Holler, J.; Crouch, S. Química. 2005. Editorial Interamericana McGraw Hill. México. 1063 pp.

Velásquez, J. 1995. Nuevas evidencias de la ocupación de las cuencas del lago de Izabal –Río Dulce y este del río Polochic. Tesis Licenciatura en Historia, Facultad de Humanidades, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Wer, Rolando. 2003. Inventario, identificación, datos biológicos e indicadores básicos de ictiofauna en el lago de Izabal y sus tributarios, Aporte como control ambiental para monitoreo del impacto de la *Hydrillaverticillata* en el área. SENACYT. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. 66 pp.

WHO WorldHealthOrganization. 1996. EnvironmentalHealthCriteria. Segunda Edición. Ginebra. 1998. Cooper (EHC 200), Cadmiun (EHC 135), Zinc (EHC 221), Níquel (EHC 108), Lead (EHC 03) and Mercury (EHC 01).

### 13. ANEXOS

#### Anexo1. Norma de la EPA sobre contaminantes en agua

	PriorityPollutants	CAS Number	Freshwater		Saltwater		Human Health for the consumption of		FR Cite / Source
			CMC (acute) (µg/L)	CCC (chronic) (µg/L)	CMC (acute) (µg/L)	CCC (chronic) (µg/L)	Water + Organism (µg/L)	Organismonly (µg/L)	
1	Antimony	7440360					5.6 B	640 B	65 FR 66443
2	Arsenic	7440382	340 A, D, K	150 A, D, K	69 A, D, bb	36 A, D, bb	0.018 C, M, S	0.14 C, M, S	65 FR 31682 57 FR 60848
3	Beryllium	7440417					Z		65 FR 31682
4	Cadmium	7440439	2.0 D, E, K, bb	0.25 D, E, K, bb	40 D, bb	8.8 D, bb	Z		EPA B22R-01-001 65 FR 31687
5a	Chromium (III)	16065831	570 D, E, K	74 D, E, K			Z total		EPA 820B-96-001 65 FR 31682
5b	Chromium (VI)	18540299	16 D, K	11 D, K	1,100 D, bb	50 D, bb	Z total		65 FR 31682
6	Copper	7440508	Freshwater criteria calculated using the BLM mm – See document (apa.gov/waterscience/criteria/copper/)		4.8 D, cc, ff	3.1 D, cc, ff	1,300 U		EPA-822-R-07-001 65 FR 31682 72 FR 7983
7	Lead	7439921	65 D, E, bb, gg	2.5 D, E, bb, gg	210 D, bb	8.1 D, bb			65 FR 31682
8a	Mercury	7439976	1.4 D, K, hh	0.77 D, K, hh	1.8 D, ee, hh	0.94 D, ee, hh		0.3 mg/kg 3	62 FR 42160 EPA 823R-01-001
8b	Methylmercury	22967926							
9	Nickel	7440020	470 D, E, K	52 D, E, K	74 D, bb	8.2 D, bb	610 B	4,600 B	65 FR 31682
10	Selenium	7782492	L, R, T	5.0 T	290 D, bb, dd	71 D, bb, dd	170 Z	4200	62 FR 42160 65 FR 31682 65 FR 66443

## Continuación de norma de la EPA sobre contaminantes en agua

	PriorityPollutants	CAS Number	Freshwater		Saltwater		Human Health for the consumption of		FR Cite / Source
			CMC (acute) (µg/L)	CCC (chronic) (µg/L)	CMC (acute) (µg/L)	CCC (chronic) (µg/L)	Water + Organism (µg/L)	Organism only (µg/L)	
11	Silver	7440224	3.2 D, E, G		1.9 D, G				65 FR 31682
12	Thallium	7440280					0.24	0.47	68 FR 75510
13	Zinc	7440666	120 D, E, K	120 D, E, K	90 D, bb	81 D, bb	7,400 U	26,000 U	65 FR 31682 65 FR 66443
14	Cyanide	57125	22 K, Q	5.2 K, Q	1 Q, bb	1 Q, bb	140	140	EPA 8208-96001 57 FR 60848 68 FR 75510
15	Asbestos	1332214					7 millionfiber s/ L		57 FR 60848
16	2,3,7,8-TCDD (Dioxin)	1746016					5.0E-9 C	5.0E-9 C	65 FR 66443
17	Acrolein	107028	3 µg/L	3 µg/L			6 ll	9 ll	74 FR 27535 74 FR 46587
18	Acrylonitrile	107131					0.051 B, C	0.25 B, C	65 FR 66443
19	Benzene	71432					2.2 B, C	51 B, C	IRIS 01/19/00 65 FR 66443
20	Bromoform	75252					4.3 B, C	140 B, C	65 FR 66443
21	Carbostetrachloride	56235					0.23 B, C	1.6 B, C	65 FR 66443
22	Chlorobenzene	108907					130 Z, U	1,600 U	68 FR 75510
23	Chlorodibromomethane	124481					0.40 B, C	13 B, C	65 FR 66443
24	Chloroethane	75003							
25	2-Chloroethylvinyl ether	110758							
26	Chloroform	67663					5.7 C, P	470 C, P	62 FR 42160

## Anexo 2. Información general del lago de Izabal

<b>Aspecto</b>	<b>Datos</b>
Ubicación de la Cuenca del Lago Izabal	15° 03' – 15° 52' Latitud Norte y 88°41' – 90° 34' Longitud Oeste
Ubicación del Lago Izabal	15° 24'-15° 38' Latitud Norte y 88° 58' – 89° 25'Longitud Oeste
Área de la Cuenca del Lago Izabal	5,800 km <sup>2</sup>
Área del Lago Izabal	671,1623 km <sup>2</sup>
Profundidad Promedio del Lago Izabal	12 m
Precipitación promedio anual	2004 mm
Temperatura media anual	25.2° C
Altitud de la cuenca	10-2100 m.s.n.m.
Suelos	Poco profundos sobre caliza y con vocación forestal
Población en la cuenca del Lago Izabal	813,192 habitantes (2003)
Zonas de Vida	Bosque muy húmedo subtropical cálido y bosque muy húmedotropical
Actividades económicas en la cuenca del Lago	Pesca Artesanal, turismo, agricultura, ganadería extensiva e intensiva y transporte

Fuente: Velásquez, 1995.

### Anexo 3

#### Licencias de exploración y explotación vigentes en Izabal

ID Derecho Minero	Nombre del derecho minero	Nombre de la empresa	Departamento (s)	Municipio (s)	Minerales o rocas
<b>LICENCIAS DE EXPLORACIÓN (Parte 1)</b>					
LEXR-882	SIERRA DE SANTA CRUZ	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	Livingston, El Estor	Níquel, cobalto, oro, plata , cobre, zinc, plomo, molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-003-06	IZABAL II	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	Livingston, El Estor	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, plomo, zinc, molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-007-05	RIO AZUL	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	Livingston	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, cinc, plomo, molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-010-07	LA TEMPESTAD	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	El Estor y Los Amates	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, zinc, plomo, molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-022-06	SEYAMCHE	Mayaniquel, S.A.	Izabal	El Estor	Níquel, cobalto, platino, cadmio, cromo, oro, plata, cobre, cinc, plomo, molibdeno y magnesio
LEXR-027-06	CUMBRE FRIA	Inversiones Sierra Morena, S.A.	Izabal	Morales	Caliza y dolomita

<b>ID Derecho Minero</b>	<b>Nombre del derecho minero</b>	<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Departamento (s)</b>	<b>Municipio (s)</b>	<b>Minerales o rocas</b>
<b>LICENCIAS DE EXPLORACIÓN (parte 2)</b>					
LEXR-051-05	PANZOS	Nichromet Guatemala, S.A.	Alta Verapaz e Izabal	Senahú, Panzós y El Estor	Cadmio, zinc, cobalto, cobre, minerales del grupo del platino, molibdeno, níquel, oro, plata, plomo y tierras raras
LEXR-056-07	PUERTO BARRIOS	Mayaniquel, S.A.	Izabal	Puerto Barrios	Cadmio, zinc, cobalto, cobre, cromo, magnesio, minerales del grupo del platino, molibdeno, níquel, oro, plata, platino y plomo
LEXR-409	MAGNESIUM	EXMINCASA	Izabal	Livingston	Caliza magnesita, dolomita, yeso, arcillas
LEXR-737	EL TUNICO	Mayaniquel, S.A.	Izabal	El Estor	Níquel, cobalto, cromo, plomo, zinc, plata, oro, grupo de metales de platino, tierras raras, cadmio y magnesio
LEXR-742	VIRGINIA	Mayaniquel, S.A.	Izabal	Morales y Los Amates	Níquel, cobalto, cromo, plomo, zinc, plata, oro, grupo de metales del platino, tierras raras, cadmio y magnesio
LEXR-743	LA RUIDOSA	Mayaniquel, S.A.	Izabal	Morales	Oro, níquel, cobalto, plomo, zinc, cobre, cromo, plata, platino, tierras raras y magnesio
LEXR-797	VENTANA VERDE	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	El Estor	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, cinc, plomo, molibdeno, cadmio, mieraes del grupo del platino y tierras raras

<b>ID Derecho Minero</b>	<b>Nombre del derecho minero</b>	<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Departamento (s)</b>	<b>Municipio (s)</b>	<b>Minerales o rocas</b>
<b>LICENCIAS DE EXPLORACIÓN (parte 3)</b>					
LEXR-809	LA COINCIDENCIA	Mayaniquel, S.A.	Izabal	Livingston, Puerto Barrios, Morales	Níquel , cobalto, como platinoides, magnesio oro, plata cobre, plomo, zinc y tierras raras
LEXR-822	NUEVA CALEDONIA II	Mayaniquel, S.A.	Izabal	El Estor	Oro, plata, níquel, cobalto, cromo, platinoides, magnesio, cobre, plomo, zinc y tierras raras
LEXR-830	CHATALA	Mayaniquel, S.A.	Izabal y Alta Verapaz	El Estor y Cahabón	Oro, níquel, cobalto, cromo, platinoides, magnesio, plata, cobre, plomo
LEXR-860	SAN JOSE DEL LAGO	Mario Luis Mansilla Dardón	Izabal	Los Amates y El Estor	Cobalto, níquel, oro, plata, cromo, cobre, plomo, zinc, platino, antimonio, tierras raras, jade y bismuto
LEXR-873	CHINABENQUE I	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	El Estor, Livingston	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, zinc, plomo, molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-874	CHINABENQUE II	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	El Estor, Livingston	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, zinc, plomo , molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-875	COATEPEQUE	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal	Livingston	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, zinc, plomo, molibdeno, cadmio, platino y tierras raras

<b>ID Derecho Minero</b>	<b>Nombre del derecho minero</b>	<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Departamento (s)</b>	<b>Municipio (s)</b>	<b>Minerales o rocas</b>
<b>LICENCIAS DE EXPLORACIÓN (parte 4)</b>					
LEXR-876	LOS AMATES	Nichromet Guatemala, S.A.	Izabal y Zacapa	Los Amates y Gualán	Níquel, cobalto, oro, plata, cobre, zinc, plomo, molibdeno, cadmio, minerales del grupo del platino y tierras raras
LEXR-903	NIQUEGUA MONTUFAR II	Compañía Guatemalteca de Níquel, S.A.	Izabal	Morales y Los Amates	Níquel, cobalto, hierro, cromo y magnesio

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. Año 2011.

<b>ID Derecho Minero</b>	<b>Nombre del derecho minero</b>	<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Departamento (s)</b>	<b>Municipio (s)</b>	<b>Minerales o rocas</b>
<b>LICENCIAS DE EXPLOTACIÓN (Parte 1)</b>					
CT-033	CHOCÓN	Explotaciones de Minas y Canteras, S.A.	Izabal	Livingston	Magnesita
CT-056	SAQUIPEC	Lee Polther Mosheim/ Hermanos Mosheim Castro	Izabal	Livingston	Magnesita y atapulguita
LEXT-195	PIEDRAS NEGRAS-i	PiedrasNegras, S.A.	Izabal	Puerto Barrios	Caliza, caliza dolomítica, dolomita, areniscas y arcillas
LEXT-563	SANTA ISABEL-iii	SANTA ISABEL-iii	Izabal	Puerto Barrios	Roca caliza
CT-107	CANTERA EL NORTE	GUATEMARMOL, S.A.	Izabal	Livingston	Mármol
ET-CT-003	CHICHIPATE	Compañía Guatemalteca de Níquel, S.A.	Izabal	El Estor	Arena silíceo y piedra dolomítica
LET-PM- 102	'MINA SAN CRISTOBAL	Cristóbal Díaz Rivera	Izabal	Morales	Mármol
LEXT-033- 05	GRAN CAÑÓN	Actividades y Servicios La Cumbre, S.A.	Izabal	Morales	Arcilla
LEXT-034- 07	CANTERA AGUA CALIENTE	Rafael Orellana Hernández	Izabal	Puerto Barrios	Caliza, arena y caliza dolomítica
LEXT-049-	EXTRACCION	Compañía	Alta Verapaz e	Senahú,	Níquel, cobalto,

05	MINERA FENIX	Guatemalteca de Níquel, S.A.	Izabal	Cahabón, Panzós y El Estor	hierro, cromo y magnesio
<b>ID Derecho Minero</b>	<b>Nombre del derecho minero</b>	<b>Nombre de la empresa</b>	<b>Departamento (s)</b>	<b>Municipio (s)</b>	<b>Minerales o rocas</b>
<b>LICENCIAS DE EXPLOTACIÓN (Parte 2)</b>					
LEXT-101	CARBON 12	Flor de María Lemus Polanco	Izabal	Livingston	Carbón, bentonita, calcedonia y jaspe
LEXT-419	CHAMPONA	Minerales Efeso, S.A.	Izabal	Morales y Puerto Barrios	Caolinita, illita y montmorillonita
LEXT-458	VIVA AMERICA	Quantum Quarries International, S.A.	Izabal	Puerto Barrios	Piedracaliza
LEXT-486	CANTERA LA BASCULA	Jaime Armando García Curley	Izabal	Puerto Barrios	Caliza
LEXT-487	CANTERA EL CIMARRON	Jaime Armando García Curley	Izabal	Puerto Barrios y Morales	Caliza

Fuente: Ministerio de Energía y Minas. Guatemala. Año 2011.

# Anexo 4

## Área de muestreo



## Anexo 5

**TABLA 2. Tomay conservación de muestras de agua**

PARAMETRO A DETERMINAR	TIPO DE ENVASE	AGENTE DE PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO
Temperatura	-	-	Medida "in situ".
pH, conductividad	P o V	-	Medida "in situ" o de manera inmediata.
Olor, color, sabor	V	-	24 h.
Turbidez, residuo, materia en suspensión, alcalinidad	P o V	-	24 h.
Oxígeno disuelto	V	-	Preferible medida "in situ" o de manera inmediata.
D.B.O <sub>5</sub>	P o V	-	6 h.
Oxidabilidad	V	-	6 h.
D.Q.O.	P o V	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (2 ml/l)	Lo antes posible (hasta 24 h.).
Amoníaco, nitritos, carbono orgánico	P o V	HgCl <sub>2</sub> (40 mg/l)	24 h.
Nitratos	P o V	HgCl <sub>2</sub> (40 mg/l)	6 h.
Nitrógeno total	P o V	HgCl <sub>2</sub> (40 mg/l)	48 h.
Cloro	P o V	-	Inmediato.
Cloruros, sulfatos	P o V	-	7 días.
Sulfitos	P o V	-	Inmediato.
Sulfuros	P o V	4 ml de solución de Zn(CH <sub>3</sub> -COH) <sub>2</sub> 2N	24 h.
Fluoruros, sílice	P	-	7 días.
Cianuros	P o V	NaOH (hasta pH 12)	24 h.
Fosfatos	V	HgCl <sub>2</sub> (40 mg/l)	24 h.
Aceites y grasas	V	HCl (2 ml/l)	Lo antes posible.
Pesticidas	V	-	24 h.
Hidrocarburos policíclicos	V	-	6 días.
Detergentes	V	HgCl <sub>2</sub> (20 mg/l)	24 h.

P = polietileno V = Vidrio

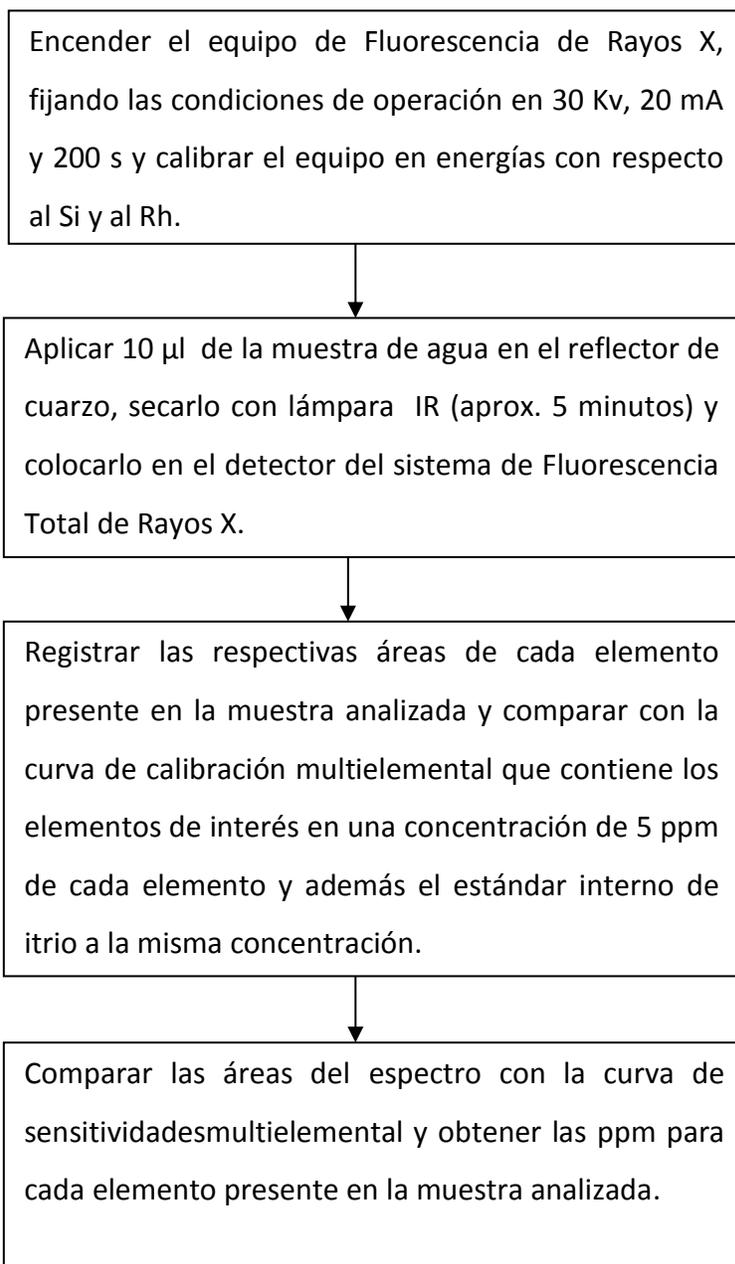
Continuación.

PARAMETRO A DETERMINAR	TIPO DE ENVASE	AGENTE DE PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO
Fenoles	V	CuSO <sub>4</sub> (1 g/l) y H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> hasta pH 4	24 h.
Mercurio	P	HNO <sub>3</sub> (2 ml/l)	2 meses.
Arsénico	P o V	HCl (2 ml/l)	2 meses.
Metales disueltos	P o V	Filtrar de inmediato. Añadir HNO <sub>3</sub> (2 ml/l)	3 meses.
Metales totales	P o V	HNO <sub>3</sub> (2 ml/l)	3 meses.

P = polietileno V = Vidrio.

## Anexo 6

### Marcha analítica para la determinación de metales pesados en muestras de agua del lago de Izabal, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X

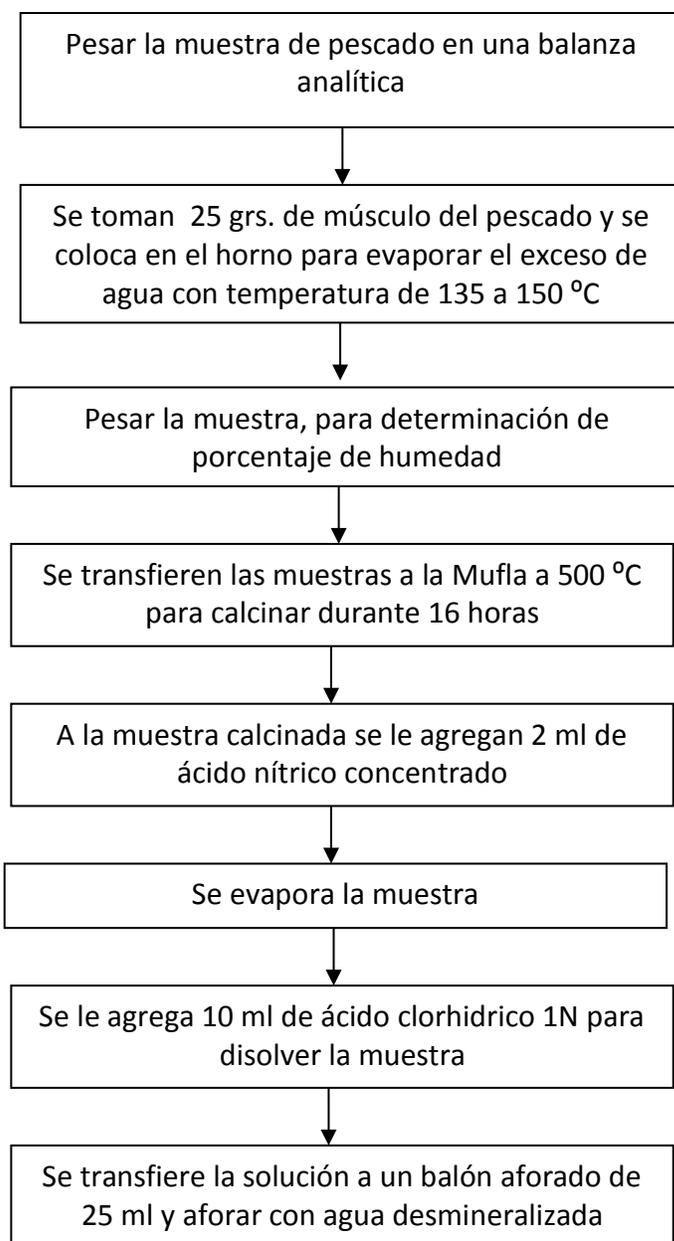


Fuente: Departamento de Físicoquímica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2010.

## Anexo 7

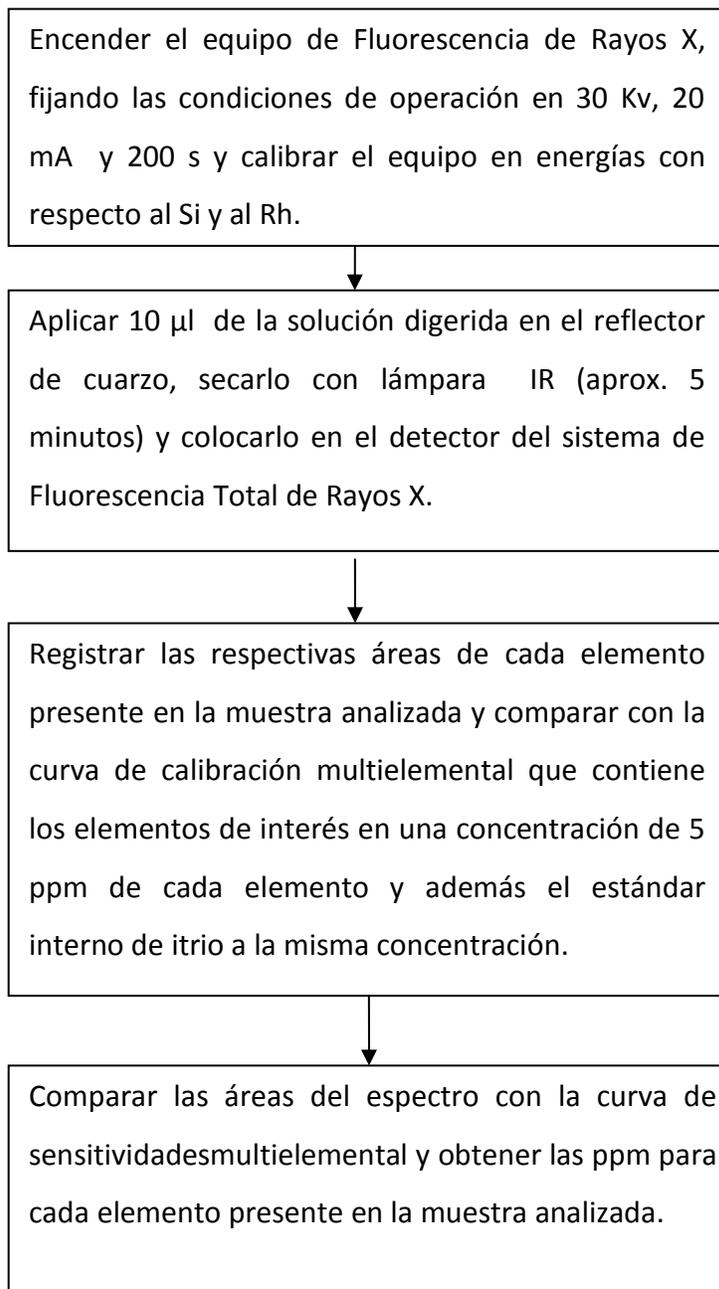
### Marcha analítica para la determinación de metales pesados en muestras tejido muscular de peces pertenecientes al lago de Izabal, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X

#### 1. Tratamiento de la muestra



Fuente: Departamento de Físicoquímica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2010.

## 2. Cuantificación

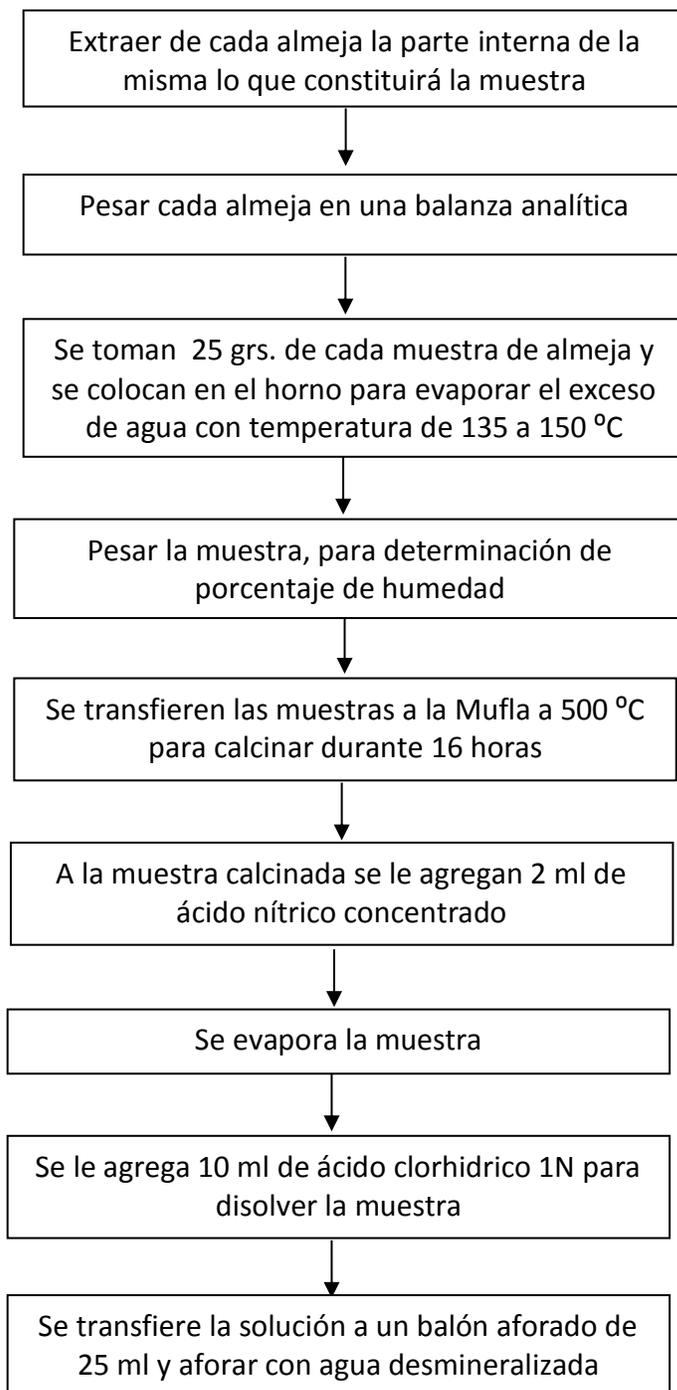


Fuente: Departamento de Físicoquímica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2010.

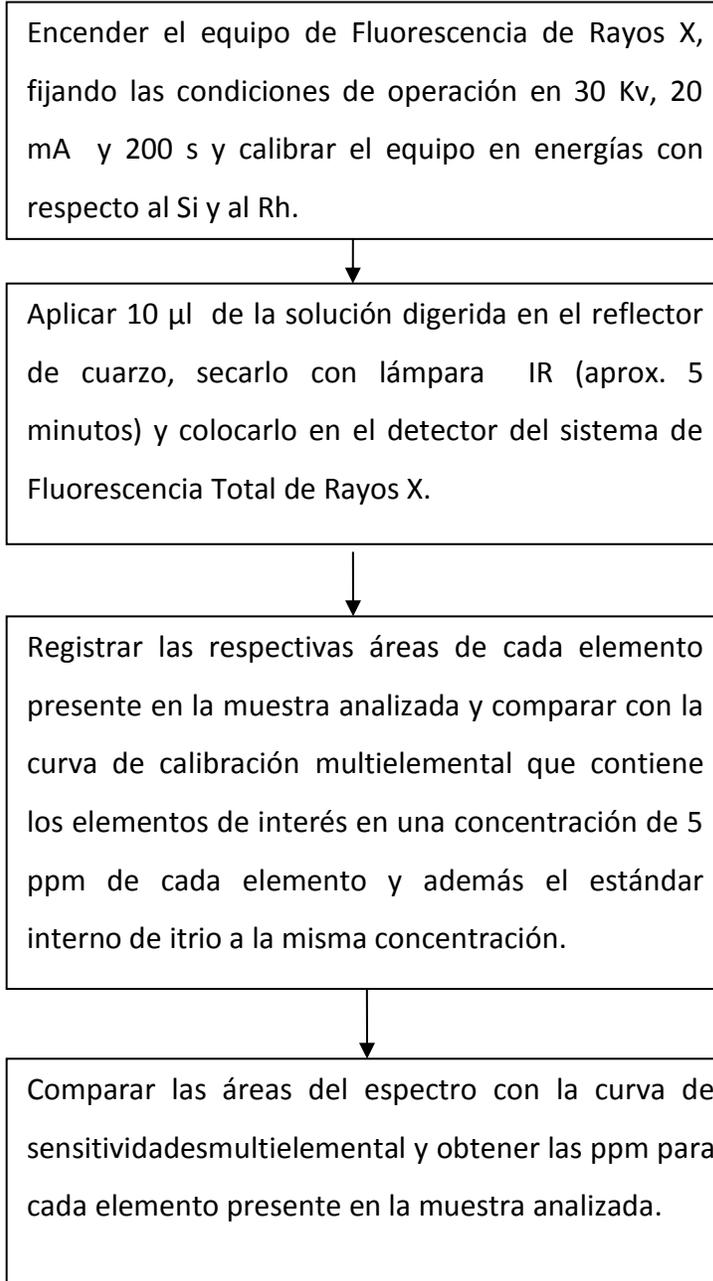
## Anexo 8

### Marcha analítica para la determinación de metales pesados en muestras de almejas del lago de Izabal, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X

#### 1. Tratamiento de la muestra



#### 2. Cuantificación



Fuente:Departamento de Físicoquímica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2010.

## Anexo 9

### Marcha analítica para la determinación de metales pesados en muestras de *Hydrilla verticillata* presente en el lago de Izabal, mediante la técnica de fluorescencia de rayos X

#### 1. Digestión ácida

Pesar aproximadamente 1 g de *H. verticillata* (seca) en un vaso de precipitar de 50 ml y adicionar cuidadosamente 3 ml de una mezcla de ácido nítrico y ácido clórhídrico concentrados en relación 2:1 respectivamente.



Tapar con vidrio de reloj y calentar lentamente en estufa hasta digestión completa de la muestra (tiempo aproximado 60 minutos) eliminando cuidadosamente los vapores ácidos en la campana de extracción.

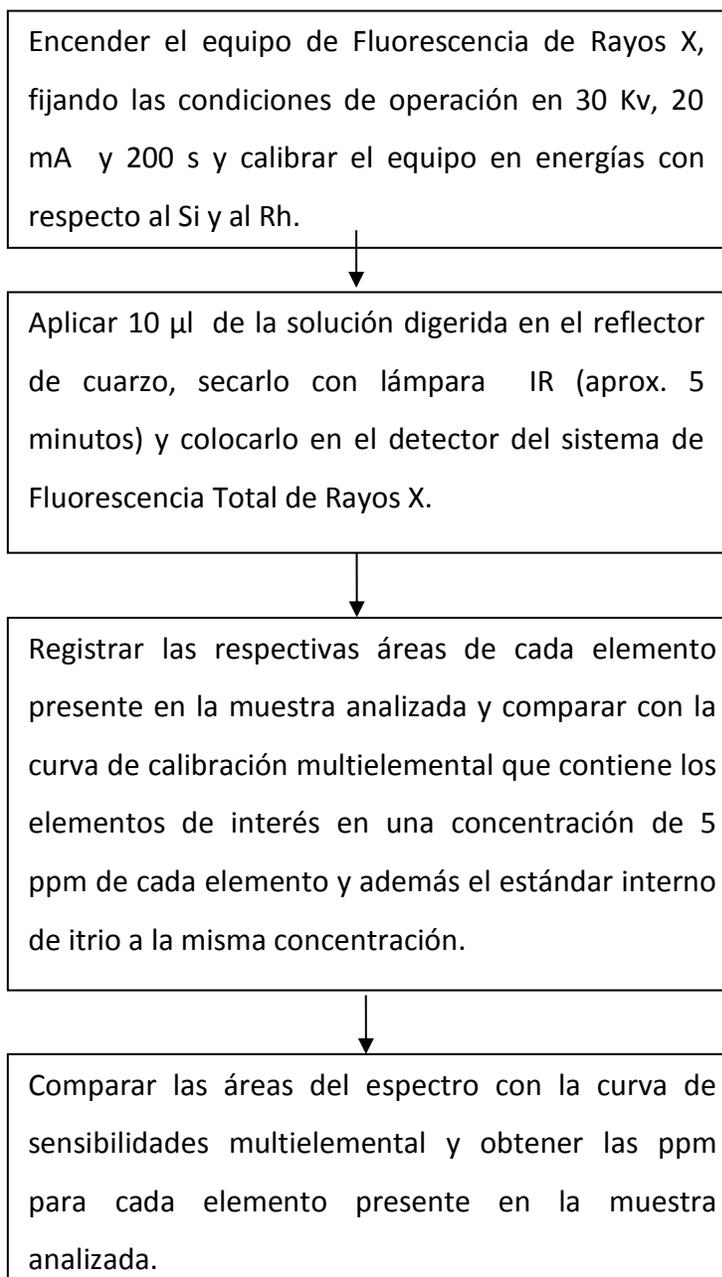


Mantener el volumen constante del vaso de precipitar (aprox. 10 ml) adicionando agua desmineralizada durante el tiempo de eliminación de los vapores ácidos, tiempo aproximado 3 horas.



Enfriar el vaso de precipitar que contiene la muestra digerida y trasvasar cuantitativamente a un balón aforado de 25 ml, adicionar 125 ul de solución estándar de itrio 1000 ppm y aforar con agua desmineralizada.

## 2. Cuantificación



Fuente: Departamento de Físicoquímica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. 2010.

## Anexo 10

### Ficha de recolección de datos para los muestreos

#### FICHA PARA MUESTREO

Fecha:

Hora:

Ubicación GPS:

Tipo de muestra y especie:

Descripción del área de muestreo:

Observaciones:

## Anexo 11

### Ficha de recolección de resultados

#### FICHA PARA RECOLECCIÓN DE RESULTADOS

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

Punto de muestreo: \_\_\_\_\_

<b>Metal</b>	<b>Resultado</b>	<b>Valores de referencia</b>
<b>Cu</b>		
<b>Pb</b>		
<b>Zn</b>		
<b>Cd</b>		
<b>Hg</b>		
<b>Cr</b>		
<b>Sb</b>		
<b>Ni</b>		

## Anexo 12

### Carta de identificación de especie de peces colectados en el lago de Izabal

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Instituto De Investigaciones  
Hidrobiológicas -IIH-  
Centro de Estudios del Mar y Acuicultura

Ref. IIH-CEMA No. 042.2011  
Guatemala, 08 de marzo del 2011.

**Bachiller**  
**Andrea Pamela Boy Mansilla**  
**No. de carné 200210332**  
**Estudiante de Química Biológica**  
**Facultad de CC QQ y Farmacia**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por este medio se hago constar que tuve a la vista los peces utilizados en el Seminario de Investigación titulado "Contaminación de metales pesados en el lago de Izabal", siendo un total 10 peces colectados, los cuales pertenecen a la especie de chumbimba ***Vieja maculicauda***.

Para los efectos que a la interesada convengan, extendiendo la presente, quedando suscrito de usted.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

**M.Sc. Pedro Julio García Chacón**  
**Coordinador**  
**Instituto de Investigaciones Hidrobiológicas**  
**CEMA - USAC**



## Anexo 13

### Carta de identificación de planta extraída del lago de Izabal

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE CC. QQ.  
Y FARMACIA  
EDIFICIO T-12  
Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Of.No.Ref.DBRNRyC.02.021.11

#### A QUIEN INTERESE:

Por este medio hago constar que tuve a la vista dos muestras de las plantas que la estudiante Andrea Pamela Boy Mansilla, de la carrera de Química Biológica con carné 200210332, está trabajando como parte de su seminario titulado: "Contaminación de Metales Pesados en el Lago de Izabal". Ambas muestras corresponden a la especie *Hydrilla verticillata* (L.f.) Royle perteneciente a la familia Hydrocharitaceae.

Y para los usos que a la interesada convengan, extendiendo, sello y firma la presente en la ciudad de Guatemala, el tres de marzo de dos mil once.

Atentamente,

**"Id y enseñad a todos"**

Licda. Roselvira Barillas.

**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA, RECURSOS  
NATURALES RENOVABLES Y CONSERVACIÓN**



C.C. Archivo  
Correlativo

RBdeK/ladeg.

"2011, Año Internacional de la Química"

## Anexo 14

### Fotografías de los tipos de muestras utilizados en el estudio

Pescado

Muestra número de uno de pescado de la especie *Vieja maculicauda*



Almejas



Agua



*Hydrilla verticillata*



Trabajo en laboratorio

Muflado de las muestras



Parte del proceso de digestión de las muestras



## Preparación de las muestras para equipo de Fluorescencia de Rayos X

