

# UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



CUANTIFICACIÓN DE ARSÉNICO EN TEJIDO MUSCULAR DE  
*Cichlasoma managuense* EN EL LAGO DE AMATITLÁN POR  
MEDIO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA  
CON GENERADOR DE HIDRUIROS

**Diego Rodrigo Monsanto González**

Guatemala

2007



CUANTIFICACIÓN DE ARSÉNICO EN TEJIDO MUSCULAR DE  
*Cichlasoma managuense* EN EL LAGO DE AMATITLÁN POR  
MEDIO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA  
CON GENERADOR DE HIDRUROS

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



CUANTIFICACIÓN DE ARSÉNICO EN TEJIDO MUSCULAR DE  
*Cichlasoma managuense* EN EL LAGO DE AMATITLÁN POR  
MEDIO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA  
CON GENERADOR DE HIDRUROS

Trabajo de investigación presentado por


**Diego Rodrigo Monsanto González**

para optar al grado de Licenciatura en Química Farmacéutica

Guatemala


2007

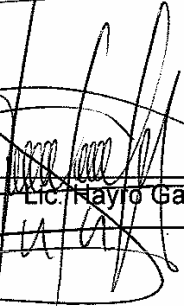
**Vo.Bo.:**

  
\_\_\_\_\_  
Lda. Carolina Guzmán

**Tribunal:**

  
\_\_\_\_\_  
Lic. Élfego Rolando López

  
\_\_\_\_\_  
Lda. Carolina Guzmán

  
\_\_\_\_\_  
Lic. Rayro García

Fecha de aprobación: 12 de diciembre de 2,007.

# CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS .....	vi
LISTA DE GRÁFICOS .....	vii
RESUMEN .....	viii

## Capítulos

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO CONCEPTUAL.....	2
III. MARCO TEÓRICO .....	5
IV. MARCO METODOLÓGICO.....	14
V. MARCO OPERATIVO.....	20
VI. RESULTADOS .....	23
VII. DISCUSIÓN.....	26
VIII. CONCLUSIONES.....	29
IX. RECOMENDACIONES .....	31
X. BIBLIOGRAFÍA.....	32
XI. APÉNDICE .....	34

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
Cuadro No. 1. Niveles de nitritos, cianuros, plomo, arsénico y cromo VI en tejido muscular de <i>Cichlasoma managuense</i> detectados vs. Normativa de Límites Máximos Permisibles según la Organización Panamericana de la Salud (FAO/OPS) en estudio realizado en 1997.....	3
Cuadro No. 2. Parámetros fijados para la digestión por microondas de las muestras de tejido muscular de <i>Cichlasoma managuense</i> .....	17
Cuadro No. 3. Condiciones analíticas para la cuantificación de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros.....	17
Cuadro No. 4. Condiciones de aceptación de la hipótesis nula ( $H_0$ ).....	18
Cuadro No. 5. Estimación de los costos de servicios y materiales requeridos para llevar a cabo esta investigación.....	22
Cuadro No. 6. Concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular de <i>Cichlasoma managuense</i> recolectado en tres puntos del lago de Amatitlán.....	23
Cuadro No. 7. Concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular del pez <i>Cichlasoma managuense</i> recolectado en el lago de Amatitlán y decisión de la prueba de hipótesis.....	23

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfica	Página
Gráfica No. 1. Concentración de arsénico promedio detectada en el tejido muscular de Cichlasoma managuense en función del punto de muestreo en el lago de Amatitlán.....	24
Gráfica No. 2. Comparación de la concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular de Cichlasoma Managuense contra el límite máximo permisible establecido por la FAO/OPS.....	25
Gráfica No. 3. Comparación de la concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular de Cichlasoma Managuense contra la ingesta diaria tolerable de arsénico total (IDT) establecida por la FAO y la OMS.....	25

## RESUMEN

Mediante esta investigación se cuantificó el nivel de arsénico total en el tejido muscular del pez perteneciente a la especie *Cichlasoma managuense* (también llamado guapote o pez tigre), el cual conforma la ictiofauna del lago de Amatitlán y forma parte de la dieta alimenticia de la población tanto del municipio de Amatitlán como de los municipios aledaños; con la finalidad de determinar si su consumo representa un riesgo para la salud y para marcar la tendencia de la contaminación del lago de Amatitlán.

Los peces fueron recolectados en tres puntos considerados como los sectores de mayor contaminación por desechos sanitarios, agrícolas e industriales: la salida hacia el río Michatoya, la desembocadura del río Villalobos y la “Silla del Niño”. Las muestras de tejido muscular fueron sometidas a una digestión ácida con horno de microondas, la cual es una técnica altamente eficiente y minimiza las pérdidas del analito. El análisis instrumental cuantitativo de arsénico total se efectuó mediante espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros.

Entre los resultados obtenidos en esta investigación, el promedio general de arsénico total detectado en el tejido muscular del pez fue de  $0.2918 \pm 0.0411$  mg/kg, valor que excede el límite máximo permisible según la normativa de la FAO/OPS, el cual es de 0.002 mg/kg, En los tres sectores evaluados, la concentración de arsénico total sobrepaso el límite máximo permisible mencionado.

# I. INTRODUCCIÓN

El Lago de Amatitlán forma parte de un conjunto de cuerpos de agua que se encuentran en proceso acelerado de contaminación. Entre los usos que actualmente tiene dicho lago están: fuente de agua potable y para aseo personal, pesca artesanal, recreación, turismo, irrigación, actividades culturales, generación de energía, enfriamiento de procesos termoeléctricos y sumidero de desechos.

Diversos estudios efectuados por la Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA) revelaron que el agua del lago tiene una alta presencia de coliformes, biocidas y metales pesados como consecuencia de la contaminación fecal, industrial y agrícola. Como consecuencia, la biota del lago también es afectada por la contaminación. Entre la ictiofauna del lago destaca la especie de pez *Cichlasoma managuense* ya que constituye el 95 % de la pesca artesanal y es comercializado para su consumo entre la población de Amatitlán y de los municipios aledaños. Lamentablemente, un estudio realizado en 1997 determinó niveles de plomo, cadmio, cromo VI y arsénico así como de nitritos y cianuros en el tejido muscular del mencionado pez por encima de los valores máximos permisibles por la FAO/OPS por lo que quienes los consumen se encuentran expuestos a estos contaminantes.

El arsénico (As) es un tóxico persistente cuya presencia en las zonas contaminadas se mantiene después de muchos años. Este elemento se absorbe por todas las vías con la eficacia suficiente para producir toxicidad, aunque la preferente es la vía digestiva con una eficacia superior al 90 %. Se pueden producir intoxicaciones agudas y crónicas. Las primeras, muy graves, son ahora muy poco frecuentes, mientras que las crónicas han adquirido un nuevo protagonismo debido al problema causado en numerosos lugares por el consumo de agua de pozo con alta concentración de As.

Por lo tanto, este estudio tuvo la finalidad de cuantificar el nivel de arsénico total en el tejido muscular de *Cichlasoma managuense* para determinar mediante el nivel máximo permisible según la normativa de la FAO/OPS si dicho pez es apto para el consumo humano y no representa un riesgo para la salud de los habitantes de Amatitlán y de los municipios aledaños.

## II. MARCO CONCEPTUAL

### A. Antecedentes del problema.

En la actualidad, el lago de Amatitlán es directamente afectado por los impactos crecientes del área a través del crecimiento poblacional, la deforestación, el uso inadecuado de la tierra, el desarrollo industrial en el área de la cuenca, la falta de educación sobre el medio ambiente, el control de la no protección del medio ambiente por parte de las empresas y la ausencia de previsión apropiada y programa de dirección.

En la cuenca del lago de Amatitlán se ubican industrias textiles, metalúrgicas, alimentarias, galvanoplásticas, plásticos, curtiembres, yeso y cerámica, pinturas, químicos, agroquímicos, farmacéuticas y agroindustrias principalmente, constituyendo el 25% de las industrias nacionales. Hasta el momento la mayoría de estas industrias carecen de un sistema de tratamiento de las aguas servidas industriales ni de los desechos peligrosos que se originan de los diferentes procesos industriales. Como consecuencia, se produce la contaminación del lago y de su biota.

En los últimos 20 años, se han llevado a cabo diversos estudios con el fin de determinar el nivel de contaminación del lago. En 1996, La Autoridad del Lago de Amatitlán (ARRLA) efectuó análisis en las aguas superficiales del lago los cuales revelaron la presencia de algunos metales como plomo, arsénico, cromo, mercurio, manganeso y aluminio. En 1997, Hayro Oswaldo García García de la Universidad de San Carlos de Guatemala llevó a cabo un estudio para determinar y cuantificar metales pesados (Pb, As, Cd y Cr VI) y sustancias tóxicas ( $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{NO}_2$  y  $\text{CN}^-$ ) en tejido muscular del pez *Cichlosoma managuense* (guapote). Este estudio reveló la presencia de plomo, arsénico, cadmio, cromo VI y nitritos en dicho pez en niveles más altos que los niveles aceptados por las normativas de la Organización Mundial de la Salud así como los criterios de calidad de la Comunidad Europea y Normas Alemanas (cuadro No. 1). Un año después, en el último registro pesquero, 1998-1999, actualizado en el año 2002 por UNIPESCA, se conjetura que la pesca realizada en el lago de Amatitlán corresponde principalmente a “guapote” y a tilapia.

Cuadro No. 1. Niveles de nitritos, cianuros, plomo, arsénico y cromo VI en tejido muscular de *Cichlasoma managuense* detectados vs. Normativa de Límites Máximos Permisibles según la Organización Panamericana de la Salud (FAO/OPS) en estudio realizado en 1997.

	<b>Concentración promedio (mg/Kg)</b>	<b>FAO/OPS (mg/Kg)</b>
<b>Nitritos</b>	130,31	50
<b>Cianuros</b>	1,003	1
<b>Plomo</b>	3,36	0,05
<b>Arsénico</b>	1,008	0,002
<b>Cromo VI</b>	0,83	0,062

(García H., 1997)

## B. Justificaciones.

El lago de Amatitlán es un ecosistema en el cual se practica la pesca artesanal, reportándose capturas mensuales de 73,5 toneladas de pescados destinados a la venta y al consumo de la población de Amatitlán y de los 32 municipios aledaños. El 95 % de esta pesca está constituida por el pez *Cichlasoma managuense* (guapote). (AMSA)

Lamentablemente, por las grandes cantidades de vertidos industriales y agrícolas que recibe este cuerpo hídrico, en estudios efectuados se detectaron en peces niveles de plomo, cadmio y arsénico más altos que los niveles aceptados por la normativa de la Organización Mundial de la Salud

El arsénico, por su parte, es uno de los elementos más tóxicos que pueden ser encontrados. La exposición a este metaloide puede causar en el humano efectos severos sobre la salud y puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer.

Por lo tanto, dada la elevada toxicidad del arsénico, es importante llevar a cabo la cuantificación del metal en *Cichlasoma managuense* o "guapote" pues este pez conforma la población mayoritaria de la ictiofauna del lago y es el de mayor consumo humano. Así también, este estudio se llevó a cabo con la finalidad de establecer cual ha sido la evolución de la contaminación del lago de Amatitlán desde 1997.

### C. Planteamiento del problema.

El arsénico es un elemento presente en los ecosistemas y que, a determinados niveles de concentración, puede resultar tóxico.

En el caso de una exposición a largo plazo al arsénico a través de la comida, el agua o la medicación, dominan en el cuadro clínico los síntomas abdominales vagos: diarrea o estreñimiento, enrojecimiento de la piel, pigmentación e hiperqueratosis. Además, puede producirse una afectación vascular, que en una región dio lugar a gangrena periférica. Así también, son habituales la anemia y la leucopenia.

Un estudio realizado anteriormente demostró la presencia de diversos metales pesados en el pez *Cichlasoma managuense* o “guapote” entre los cuales destaca el arsénico. Hoy en día el “guapote” constituye la principal fuente de alimento extraída del lago y es consumido por los habitantes de Amatitlán y de los municipios aledaños. Por lo tanto, el monitoreo de arsénico en el “guapote” se llevó a cabo con la finalidad de determinar si su consumo representa un riesgo para la salud y para marcar la tendencia de la contaminación del lago de Amatitlán.

### D. Alcances y limitantes del problema.

1. Alcances. A través de este estudio se cuantificó el nivel de arsénico en tejido muscular del pez perteneciente a la especie *Cichlasoma managuense*, el cual conforma la biotada del lago de Amatitlán y forma parte de la dieta alimenticia de la población de municipio de Amatitlán y de los municipios aledaños.

2. Límites. A través de este estudio se cuantificó el nivel de arsénico total en tejido muscular del *Cichlosoma managuense* por medio de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros. Aún si este método es el más utilizado para investigar elementos minerales debido a su gran precisión y sensibilidad, no es capaz de distinguir entre especies pentavalentes, trivalentes u organometálicas.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. El lago de Amatitlán.

El lago de Amatitlán, situado en el departamento de Guatemala, en los municipios de Amatitlán, San Miguel Petapa y Villa Canales, tiene un área superficial de 15.2 km<sup>2</sup> y un volumen de 286 millones de metros cúbicos. La profundidad promedio es de 18 metros y la amplitud de las fluctuaciones del nivel de agua varía anualmente entre 1.5 y 2.3 m. El área que influye sobre el lago tiene 382 km<sup>2</sup>, con una población aproximada que aumentó de 782,000 habitantes en 1981 a más de 1,100,000 en 1994 (según censo del Instituto Nacional de Ecología INE) de los cuales la mayoría vive en la ciudad capital. La densidad de población en la cuenca del lago de Amatitlán es una de las mayores en el mundo: 2,700 hab/km<sup>2</sup>, más 15,000 que viven en las orillas del lago (Pape, 1998).

Las poblaciones que descargan desechos al lago se ubican en Villa Nueva, Villa Canales, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, la parte sur de la ciudad de Guatemala, así como las poblaciones y asentamientos ubicados en las propias riberas del lago. Al suroeste del lago se sitúa el municipio de Amatitlán, cuyos desechos se drenan al Río Michatoya, sin influir directamente en la contaminación del lago, salvo los de algunas colonias nuevas. Ningún otro recurso lacustre nacional tiene tanta presión social y urbana como el lago de Amatitlán (Pape, 1998).

En términos económicos, el área de la cuenca del lago de Amatitlán es una de las más importantes del país. Según el INE, en dicha área se sitúa el 25% de la industria nacional. Aproximadamente 72 industrias generan contaminantes químicos y muchas de ellas utilizan grandes cantidades de agua, produciendo un mayor grado de contaminación (Pape, 1998).

Hay otras empresas establecidas que no utilizan tanta cantidad de agua pero su grado de contaminación es grande; por ejemplo, los molinos de granos aportan el 24% de la carga total de sólidos en suspensión (Pape, 1998).

A mediados de la década de los ochenta, se habían identificado 125 núcleos poblacionales y 272 industrias con alto potencial contaminante químico. En 1988, se identificaron 341 industrias en el área de influencia del lago (INE, 2005). Datos más recientes, recopilados por la Autoridad en 1996, dan cuenta de la existencia de 655 industrias con descargas hacia fuentes del lago (Pape, 1998).

Además, en la cuenca del lago se encuentran 23 beneficios de café y un ingenio de azúcar, que utilizan agua en diferentes partes del proceso de producción, ya que la mayoría de las fincas cuentan con un beneficio húmedo. Las descargas de desechos y agua utilizada no se conocen exactamente, aunque el único dato disponible es que ambas actividades requieren un suministro del vital líquido de 190 Lt/s y vuelcan sus aguas usadas a efluentes del lago, sin tratamiento alguno (Pape, 1998).

La vida acuática, y aun la vida animal terrestre, ha sido diezmada y se encuentra en un acelerado proceso de extinción, al grado de que varias especies nativas han desaparecido totalmente. Por otra parte, las especies existentes representan un gran peligro para el consumo humano debido a la gran cantidad de contaminantes y microorganismos patógenos con los que entran en contacto (Pape, 1998).

## B. *Cichlasoma managuense*.

En 1959 el Lago de Amatitlán se repobló con pez tigre o guapote (*Cichlasoma managuense*), mojarra negra (*Cichlasoma macracanthus*) y en 1960 con tilapia (*Oreochromis mossambicus*) (AMSA).

El *Cichlosoma managuense* posee un cuerpo fusiforme y comprimido con aleta caudal de tipo dificerca, con escamas de tipo cicloidea, su coloración es oscura con líneas amarillas, sus dientes son carnívoros en ambas mandíbulas en la parte de en frente únicamente y son pequeños en el resto de la mandíbula. Este pez posee una boca protráctil, su intestino es corto por lo que se puede determinar que es una especie carnívora (Gutiérrez, 1994).

La Autoridad del Lago de Amatitlán (AMSA) a partir del año de 1996 ha realizado muestreos cualitativos sobre las especies que se encuentran presentes en el Lago, los puntos de mayor densidad poblacional es en el lado Oeste en las riberas, específicamente en la desembocadura del río Villalobos. El pez que más se ha cuantificado es el *Cichlasoma managuense* (pez tigre o guapote) que constituye el 95% de la pesca del lago (AMSA).

La introducción de especies como el Guapote y la Tilapia han logrado hacer con el tiempo un equilibrio dentro de las poblaciones nativas e introducidas, ya que a pesar del constante incremento del esfuerzo pesquero, contaminación y depredación de las especies nativas por las introducidas, se ha observado que existen lugares de permanente distribución de especies nativas como la *Cichlasoma guttulatum* (mojarra azul) (AMSA).

La importancia, abundancia y disponibilidad de estas especies varía según la época del año y el objetivo de la pesca, pudiendo ser esta última comercial, de subsistencia, deportiva y hasta medicinal según los pescadores del área en el caso de la Sirica (AMSA).

## C. El arsénico.

El arsénico (As) se encuentra en la tabla periódica entre el P y el Sb, y tiene propiedades similares al fósforo. Es un metaloide, es decir, con propiedades intermedias entre metales y no metales; por ello forma aleaciones con metales, pero también enlaces covalentes con el carbono, hidrógeno y oxígeno. Forma compuestos trivalentes inorgánicos (trióxido arsenioso, arsenito de Na), y orgánicos (arsfenamina) y pentavalentes inorgánicos (pentaóxido arsénico, arseniato de Pb, ácido arsénico). En la naturaleza está ampliamente distribuido en una serie de minerales como compuestos de cobre, níquel y hierro, y sulfuro y óxido de arsénico. En el agua se suele encontrar en forma de arsenato o arsenito, ambas muy hidrosolubles (Ferrer, 2003).

Los compuestos del arsénico se han empleado como plaguicidas en la agricultura, como conservantes de la madera y como aditivos alimentarios para el ganado, en la industria de vidrio y cerámica, en aleaciones de cobre y plomo y como medicamentos. Los alimentos marinos, ricos en arsénico, son una fuente de cierta importancia en la dieta. La combustión de carbón y la fundición de metales son las principales fuentes de arsénico en el aire (Ferrer, 2003).

1. Clasificación de cancerogenicidad del arsénico según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). En 1987, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) identificó al arsénico y a los compuestos arsenicales como agentes carcinogénicos clasificándolos en el grupo 1 (IARC, 1987).

Grupo 1: <<El agente (o mezcla) es *carcinógeno para el ser humano*. Las condiciones de la exposición conllevan exposiciones carcinógenas para el ser humano>>(IARC, 1987).

Esta categoría se aplica cuando existen pruebas suficientes de carcinogenicidad en humanos. Excepcionalmente, un agente (o mezcla), puede ser incluido en esta categoría si las pruebas en humanos no son suficientes, pero sí lo son en animales de experimentación, y existen pruebas contundentes en humanos expuestos que el agente (o mezcla) actúa mediante mecanismos relevantes para la carcinogenicidad (IARC, 1987).

2. **El arsénico en el ambiente.** El arsénico se encuentra naturalmente en el suelo y en minerales por lo que puede estar presente en aire, agua y suelo en polvo que sopla el viento. También puede pasar al agua en agua de escorrentía o en agua que se filtra a través del suelo. Las erupciones volcánicas constituyen otra fuente de arsénico. El arsénico está asociado con minerales que se minan para extraer metales, como por ejemplo cobre y plomo, y puede entrar al ambiente cuando se minan o funden estos minerales. También se pueden liberar a la atmósfera pequeñas cantidades de arsénico desde plantas de carbón y desde incineradores porque a menudo el carbón y los productos de desecho contienen arsénico (ATSDR, 2005).

El arsénico no puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma o puede adherirse o separarse de partículas. Puede cambiar su forma al reaccionar con oxígeno o con otras moléculas presentes en el aire, el agua o el suelo, o por la acción de bacterias que viven en el suelo o el sedimento. El arsénico que se libera desde plantas de energía y de otros procesos de combustión generalmente está adherido a partículas muy pequeñas. El arsénico contenido en polvo que sopla el viento se encuentra generalmente en partículas más grandes. Estas partículas se depositan en el suelo o son removidas del aire por la lluvia. El arsénico que está adherido a partículas muy pequeñas puede permanecer en el aire durante varios días y puede moverse largas distancias. Muchos compuestos comunes de arsénico pueden disolverse en agua. Por lo tanto, el arsénico puede pasar a lagos, ríos o al agua subterránea disolviéndose en el agua de lluvia o la nieve o en desagües industriales. Cierta cantidad de arsénico se adherirá a partículas en el agua o a sedimento del fondo de lagos o ríos, mientras que otra porción será arrastrada por el agua. Al final, la mayor parte del arsénico termina en el suelo o en el sedimento. Aunque algunos peces y mariscos incorporan arsénico que puede acumularse en los tejidos, la mayor parte de este arsénico se encuentra en una forma orgánica llamada arsenobetaína (llamada comúnmente arsénico de pez) que es mucho menos peligrosa (ATSDR, 2005).

3. **Etiología de las intoxicaciones por arsénico.** Las intoxicaciones accidentales con arsénico (As) se han producido con relativa frecuencia debiéndose generalmente a errores o equivocaciones, así vemos como se han descrito confusiones de insecticidas en polvo con harina o azúcar. El uso de As con fines autolíticos, sin embargo, es raro, y consiste generalmente en el uso de herbicidas o insecticidas arsenicales en grandes cantidades. También se han dado intoxicaciones medicamentosas, especialmente con los compuestos pentavalentes del As que se pueden utilizar en el tratamiento de parasitosis. Igualmente se han descrito intoxicaciones tras empastes dentarios arsenicales (Suárez *et al.*, 2004).

Las intoxicaciones alimentarias son consecuencia del consumo de alimentos y aguas contaminadas por este metal. Muchos compuestos arsenicales son solubles en el agua. Las

concentraciones más elevadas, aparte de las que se presentan en aguas de manantial de forma natural, se dan en las zonas de intensa actividad industrial. Fundamentalmente lo que aparece en el agua es As inorgánico, de hecho se han descrito zonas endémicas de arsenicismo hídrico en la India, Canadá, Alemania y Argentina. Las aguas de los Andes, Taiwán y África del Norte, etc., también son aguas muy ricas en este metal. Los mariscos, también puede contener componentes orgánicos de As, aunque es importante destacar que estos son menos tóxicos que los inorgánicos y se eliminan más fácilmente del organismo. A pesar de que la mayor fuente dietética de As la constituyen el pescado y la carne, en España no existe limitación para el contenido de As en pescados. También los vinos tratados con insecticidas o bombones coloreados o envueltos con papeles teñidos con colores arsenicales contribuyen a la ingesta dietética de As. Basándose en estudios epidemiológicos que indican que la ingesta de As inorgánico puede producir cáncer en humanos, la FAO/OMS han establecido una ingesta diaria tolerable (IDT) provisional de As inorgánico de 2  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  por peso corporal, la ingesta diaria tolerable (IDT) de As total en 50  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  de peso y la ingesta provisional semanal tolerable (Provisional Tolerable Weekly Intake, PTWI) en 15  $\mu\text{g}$  de As inorgánico/ $\text{Kg}$  de peso corporal (Suárez *et al.*, 2004).

Las intoxicaciones profesionales suelen darse en actividades laborales que utilizan productos arsenicales tales como colorantes, metalúrgica, fabricación de semiconductores y en los productos fitosanitarios. La principal fuente de exposición laboral a As es la elaboración de plaguicidas, herbicidas y productos agrícolas (Suárez *et al.*, 2004).

La dosis tóxica de As inorgánico en el adulto es de 0,5 mg/ $\text{Kg}$  y la potencialmente mortal de 2-3 mg/ $\text{Kg}$ , aunque existe una gran variabilidad individual. La dosis letal en humanos varía entre 1,5 mg/ $\text{Kg}$  de peso corporal (trióxido de diarsénico) y 500 mg/ $\text{Kg}$  de peso corporal (ácido dimetilarsínico) (Suárez *et al.*, 2004).

#### 4. Clínica de las intoxicaciones arsenicales.

a. Síntomas gastrointestinales. Es característica la gastroenteritis hemorrágica (el trióxido de arsénico es cáustico y se adhiere a la mucosa gástrica), aunque también aparecer simplemente náuseas, vómitos, olor a ajo en el aliento, dolor abdominal y diarrea acuosa. Dosis pequeñas de arsenicales inorgánicos, en particular los compuestos trivalentes, causan hiperemia esplácnica leve. El trasudado capilar de plasma produce vesículas debajo de la mucosa gastrointestinal, que al final se rompen; luego se desprenden fragmentos de epitelio y el plasma se desparrama en el interior del intestino, donde se coagula. El daño tisular y la acción catártica por intercambio de agua de la mayor cantidad de líquido en el interior del intestino desencadena hiperperistaltismo y la clásica diarrea acuosa. Queda suprimida la proliferación

normal del epitelio, lo cual agrava el daño. Pronto las heces se tornan sanguinolentas. La lesión de las vías gastrointestinales superiores puede ocasionar hematemesis. Los síntomas gastrointestinales pueden surgir poco a poco, al grado de que no se considera la posibilidad de intoxicación por As (Suárez *et al.*, 2004).

b. Efectos sobre los riñones. La acción del arsénico en capilares, túbulos y glomérulos renales puede ocasionar daño grave en todos ellos. Los glomérulos son los primeros en ser atacados y surge proteinuria. Más tarde hay grados variables de necrosis y degeneración tubulares. La exposición al As a menudo ocasiona oliguria, con proteinuria, hematuria y presencia de cilindros en la orina (Suárez *et al.*, 2004).

c. Efectos sobre la piel. A corto plazo, muchos arsenicales poseen un efecto vesicante en la piel, que ocasiona necrosis y esfacelo. El consumo prolongado de As también causa hiperqueratosis, en particular en las palmas de las manos y las plantas de los pies, así como hiperpigmentación en el tronco y las extremidades. Todos estos factores culminan en atrofia y degeneración, y a veces en cáncer (Suárez *et al.*, 2004).

d. Efectos cardiopulmonares. Se observan miocardiopatía congestiva, trastornos de la conducción, prolongación del intervalo QT con taquicardia ventricular poliforma, edema agudo de pulmón cardiogénico o no cardiogénico, hipotensión y muerte; todo ello en poco tiempo o tras varios días de evolución. Dosis pequeñas de As inorgánico inducen vasodilatación leve, lo cual puede ocasionar edema oculto, ante todo en la cara. Dosis mayores incitan la dilatación capilar. También puede haber trasudado de plasma y una importante disminución del volumen intravascular. La exposición a largo plazo ocasiona gangrena de las extremidades, en particular de los pies (Suárez *et al.*, 2004).

e. Efectos neurológicos. Puede producirse típicamente delirio, desorientación, agitación, encefalopatía, convulsiones, disestesias dolorosas, debilidad muscular, parálisis, insuficiencia respiratoria neuromuscular y coma. Asimismo, es posible la aparición de una neuropatía periférica sensoriomotora semanas después de la ingestión de una sobredosis, que es la lesión neurológica más común inducida por el mineral. El síndrome es semejante a la polirradioneuropatía desmielinizante/inflamatoria aguda (síndrome de Guillain-Barré) (Suárez *et al.*, 2004).

- f. Toxicidad sanguínea. Los arsenicales inorgánicos afectan la médula ósea y alteran la composición celular de la sangre. En la evaluación hematológica suele advertirse anemia, con leucopenia leve o moderada, también puede haber eosinofilia (Suárez *et al.*, 2004).
- g. Toxicidad hepática. Los arsenicales inorgánicos, y diversos arsenicales orgánicos hoy obsoletos, son particularmente hepatotóxicos, y producen infiltración adiposa, necrosis central y cirrosis. El daño puede ser leve o tan grave que el sujeto fallezca. La lesión suele localizarse en el parénquima hepático, pero en algunos casos el cuadro clínico se asemeja mucho a la oclusión del colédoco (Suárez *et al.*, 2004).
- h. Otros síntomas. Se ha descrito la aparición de líneas blancas en las uñas (líneas de Mees- Aldrich) meses después de la intoxicación. También es posible observar pancitopenia, rhabdomiólisis, aplasia medular o pérdida del cabello. Algunos compuestos de As son radiopacos, y se pueden visualizar muy bien en la radiografía simple de abdomen (Suárez *et al.*, 2004).

Mientras el As elemental es muy poco tóxico por su escasa solubilidad, el arseniuro de hidrógeno o arsina, gas incoloro con fuerte olor aliáceo, 2'7 veces más pesado que el aire, algo soluble en agua, pero insoluble en éter y alcohol que se forma por la reacción de hidrógeno con As y se genera como un subproducto en el refinamiento de metales no ferrosos, provoca hemólisis rápida y severa. La presentación de los efectos debido a una exposición a este gas incluyen un periodo de latencia de 24 horas (Suárez *et al.*, 2004).

#### 5. Intoxicaciones por compuestos arsenicales y su sintomatología. Las intoxicaciones por compuestos arsenicales y su sintomatología se pueden dividir en:

- a. Intoxicación sobreaguda. Tiene lugar por rápida absorción de una gran cantidad de producto, se manifiesta 1 hora tras la exposición como cuadro neurológico paralítico sin vómitos ni diarrea (Suárez *et al.*, 2004).
- b. Intoxicación aguda. Aparece como un cuadro gastrointestinal coleriforme, con vómitos, diarreas e intensos dolores abdominales, fiebre, insomnio, anemia, hepatomegalia, melanosis, alteraciones cardíacas. La pérdida de sensibilidad en el sistema nervioso periférico es el efecto neurológico más frecuente; aparece una a dos semanas después de exposiciones grandes, y consta de degeneración walleriana de axones, un estado reversible si se suspende la exposición. Los síntomas de la intoxicación aguda pueden aparecer en

minutos o bien muchas horas después de la ingestión de entre 100 y 300 mg de As, aunque también es posible la inhalación de polvo de As o la absorción cutánea. Las manifestaciones clínicas difieren si es As o arsina (Suárez *et al.*, 2004).

c. Intoxicación aguda por arsina. Los síntomas observados en la intoxicación aguda por arsina difieren de los expuestos anteriormente para el resto de los compuestos de As. Al carecer de efecto irritante no produce síntomas de forma inmediata y casi no se percibe olor alguno en la exposición salvo, en algunos casos, un olor a ajo en el ambiente. Tras 2-24 h aparece una hemólisis grave, cuyos síntomas tempranos son dolor de cabeza, debilidad, disnea, dolor abdominal, hemoglobinuria e ictericia. La oliguria y la insuficiencia renal pueden aparecer 1-3 días después de la intoxicación (Suárez *et al.*, 2004).

d. Intoxicación subcrónica o por dosis repetidas. Se producen cuadros irritativos cutáneos eccematoides con melanosis e hiperqueratosis, y mucosas con conjuntivitis, necrosis corneal y la típica perforación del tabique nasal. Aunque también se origina anemia y alteraciones hepáticas y cardiovasculares, con gangrena de extremidades, el cuadro más importante es la neuritis periférica. La lesión hepática característica de la exposición a plazo más largo, se manifiesta por sí misma al principio por ictericia, y puede progresar hacia cirrosis y ascitis. Los efectos tóxicos sobre las células del parénquima hepático generan aumento de las enzimas hepáticas de la sangre (Suárez *et al.*, 2004).

e. Intoxicación crónica. Produce efectos multisistémicos, tales como: fatiga, gastroenteritis, leucopenia, anemia, elevación de las transaminasas, hipertensión portal no cirrótica, neuropatía periférica sensoriomotora, insuficiencia vascular periférica, líneas de Mees-Aldrich, etc. Asimismo se han descrito alteraciones cutáneas 3-7 años después de comenzar una exposición (hipopigmentación e hiperpigmentación, hiperqueratosis, etc.) y cáncer de pulmón en quienes inhalan crónicamente As. Se han descrito otras neoplasias en la vejiga, el riñón y el hígado. La neuropatía periférica llega a ser progresiva y afectar neuronas tanto sensitivas como motoras; conduce a desmielinización de fibras nerviosas de axones largos, pero los efectos están relacionados con la dosis. Estas exposiciones crónicas que causan efectos más graduales e insidiosos, pueden ocurrir durante un periodo de años y ha sido difícil establecer relaciones entre dosis-respuesta (Suárez *et al.*, 2004).

6. **Tratamiento de la intoxicación por compuestos arsenicales.** El tratamiento de la intoxicación aguda debe ser muy enérgico dada su alta mortalidad. El paciente debe ser siempre tratado en la unidad de cuidados intensivos (UCI) con rehidratación, administración de bicarbonato y monitorización cardíaca (Suárez *et al.*, 2004).

En intoxicaciones por vía oral hay que realizar lavado gástrico seguido de administración de carbón activado. El quelante de elección es el BAL a dosis de 3 mg/Kg/IM cada 4 horas durante 5 días. La penicilamina podría también ser útil pero hay que tener en cuenta la intolerancia digestiva (Suárez *et al.*, 2004).

## IV. MARCO METODOLÓGICO.

### A. Objetivos.

#### 1. Generales.

- a. Determinar el contenido de arsénico total en tejido muscular de *Cichlasoma managuense* en tres puntos críticos de contaminación del Lago de Amatitlán.
- b. Generar información útil para determinar si esta fuente alimenticia constituye un riesgo para la salud de la población que la consume.

#### 2. Específicos.

- a. Cuantificar por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros el nivel de arsénico total en el pez *Cichlasoma managuense* recolectado en la salida hacia el río Michatoya, en la desembocadura del río Villalobos y en el la “Silla del Niño” la cual corresponde al centro del cuerpo Noroccidental del lago.
- b. Comparar el nivel de arsénico total cuantificado en tejido muscular de *Cichlasoma managuense* con el límite máximo permisible del mismo según la normativa de la Organización Panamericana de Salud (FAO/OPS) el cual es de 0.002 mg/Kg.
- c. Comparar el nivel de arsénico total cuantificado en tejido muscular de *Cichlasoma managuense* con el valor determinado en el año 1997.

### B. Hipótesis.

La concentración de arsénico total en tejido muscular de *Cichlasoma managuense*, parte de la ictiofauna del lago de Amatitlán, excede el nivel permisible de 0.002 mg/Kg según la FAO/OPS.

## C. Variables.

### 1. Variables independientes.

- La fuente de alimentación del *Cichlosoma managuense*.
- Momento del día en que se alimentan los peces de la especie estudiada.
- Edad del *Cichlasoma managuense*.
- Concentración de arsénico en el agua y sedimentos del lago de Amatitlán.

### 2. Variables dependientes.

- Especie de pez estudiada, *Cichlosoma managüense* del Lago de Amatitlán.
- Concentración de arsénico en tejido muscular en *Cichlosoma managuense*.
- Puntos de mayor contaminación del Lago de Amatitlán.

## D. Población y muestra.

1. **Universo de trabajo o población meta.** El universo de trabajo estuvo conformado por la población de peces pertenecientes a la especie *Cichlasoma managuense*, al cual se le determinó y cuantificó la concentración de arsénico en mg/Kg y cuya recolecta se efectuó en tres puntos de muestreo en el Lago de Amatitlán.

2. **Muestra.** Con base en el estudio efectuado en 1997 por Hayro Oswaldo García García de la Universidad de San Carlos de Guatemala titulado “Determinación y cuantificación metales pesados (Pb, As, Cd y Cr VI) y sustancias tóxicas (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub> y CN<sup>-</sup>) en tejido muscular del pez *Cichlosoma managuense* (guapote)” y al departamento de Control Ambiental de La Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA) se determinaron tres puntos de muestreo: el Punto A el cual se encuentra ubicado a 14 29' Norte y 90 36' Oeste y corresponde a la salida hacia el río Michatoya; en esta área se produce la mayor contaminación orgánica. El Punto B: (río Villalobos), está ubicado a 14 28' Norte (latitud) y 90 36' Oeste (longitud), el cual es el área con la mayor descarga de contaminantes químicos (líquidos y sólidos) y materia orgánica que son derivados de la ciudad capital de Guatemala y los municipios de Mixco, San Miguel Petapa, Villa Nueva, Villa Canales y Amatitlán. El tercer punto, el Punto C, se encuentra ubicado en la “Silla del Niño” en el cuerpo noroccidental del lago.

Se colectaron tres peces por cada punto de la especie *Cichlasoma managuense* por conveniencia. El estudio presentó un diseño de investigación cuasi-experimental donde fueron escogidos tres lugares independientes el uno del otro. La colecta de los peces se realizó con los pescadores del lugar, empleando una atarraya o vara para pescar. El tejido muscular del pez fue extraído por el investigador.

## E. Procedimiento.

- Revisión de bibliografía y recaudación de información acerca del tema.
- Selección de las áreas a trabajar para recolección de muestras.
- Preparación de la muestra.
- Cuantificación de arsénico total en las muestras por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros.
- Interpretación de resultados.

### 1. Extracción del analito para su cuantificación.

#### a. Preparación de la muestra.

- 1) Remover, tanto como sea posible, del tejido muscular la grasa con un cuchillo o con un bisturí. Macerar el tejido y mezclarlo.
- 2) Congelar las muestras si no se analizan inmediatamente después de colectadas. Es conveniente usar bolsas de plástico lisas para congelar las muestras en porciones de 2 cm. de espesor.

#### b. Digestión de la muestra por microondas.

- 1) Lavar en una primera instancia, toda la cristalería a emplear con una solución de ácido nítrico y agua bidestilada (1:1) y posteriormente lavarla con agua bidestilada.
- 2) Pesar aproximadamente 1.0 g de tejido muscular homogenizado en un vessel para microondas.
- 3) Adicionar 10 mL de ácido nítrico concentrado al tejido muscular en el vessel.
- 4) Tapar el vessel y colocarlo en el tambor del microondas.
- 5) Cargar el método en el microondas e iniciar la digestión.
- 6) Enfriar el vessel a temperatura ambiente.
- 7) Trasladar el contenido del vessel a un balón volumétrico de 25 mL y aforar al volumen con agua bidestilada.

Cuadro No. 2. Parámetros fijados para la digestión por microondas de las muestras de tejido muscular de *Cichlasoma managuense*.

Etapa	Potencia máxima (w)	% potencia	Rampa (min.)	Presión (psi)	Temperatura (° C)	Mantenimiento (min.)
(1)	1200.00	50.00	15.00	-	200	15.00

## 2. Preparación de las soluciones estándar.

a. Solución stock de ácido arsénico ( $H_3AsO_4$ ). Transferir con pipeta volumétrica 1.0 mL de estándar de ácido arsénico ( $H_3AsO_4$ ) 1000  $\mu\text{g/mL}$  a un balón volumétrico de 100 mL. Diluir y aforar con ácido nítrico 0.5 M. La concentración de esta solución estándar es de 10  $\mu\text{g/mL}$ .

b. Soluciones estándar de calibración. Transferir con micropipeta volumétrica 0; 0,12; 0,24 y 0,4 mL (0, 120, 240 y 400  $\mu\text{L}$ ) de la solución stock de  $H_3AsO_4$  10  $\mu\text{g/mL}$  en balones volumétricos de 100 mL. Agregar 2 mL de ácido clorhídrico concentrado y diluir al volumen con agua bidestilada para dar estándares de 0, 12, 24 y 40  $\mu\text{g/L}$  respectivamente.

3. Condiciones analíticas para la cuantificación de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros. Las condiciones instrumentales utilizadas para la determinación analítica de arsénico se detallan en el cuadro No.3.

Cuadro No. 3. Condiciones analíticas para la cuantificación de arsénico por espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros.

Parámetro	Magnitud/Características
Gas de arrastre	Argón
Corriente de la lámpara	10 mA
Longitud de onda	193,7 nm
Reluctante	$\text{NaBH}_4$ al 0.6% en NaOH al 0.5%
Ácido	HCl 10 M.
Tipo de llama	Aire-acetileno
Rango de aspirado de la muestra	6-8 mL/min
Rango de aspirado del reductante y del ácido	0.8-1.2 mL/min

## F. Diseño de investigación.

En tres puntos del lago de Amatitlán considerados como los sectores de mayor contaminación, la salida hacia el río Michatoya (Punto A), la desembocadura del río Villalobos (Punto B) y la “Silla del Niño” situado en el Cuerpo Noroccidental (Punto C), se recolectaron en cada uno tres peces de la especie *Cichlasoma managuense*. A estos les fue extraído el tejido muscular pues es en dicho tejido en donde se acumulan el arsénico y otros tóxicos. El tejido muscular fue conservado en frío para después ser tratado en el laboratorio. Las muestras fueron preparadas mediante digestión ácida por microondas y analizadas por medio de espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros para la cuantificación de arsénico total. Por último, se llevó a cabo la interpretación de los resultados obtenidos.

## G. Análisis estadístico.

El análisis estadístico se llevó a cabo en función del límite máximo permisible de arsénico establecido en la normativa de la Organización Panamericana de Salud (FAO/OPS) el cual es de 0.002 mg/Kg, Se establecieron los siguientes criterios:

### 1. Hipótesis.

Éxito ( $\mu$ ): Presentará valores mayores a la norma

Fracaso ( $\mu$ ): Cumple con la norma.

$H_o$ :  $\mu \geq 0.002$  mg/kg

$H_a$ :  $\mu < 0.002$  mg/kg

### 2. Rechazo de la hipótesis.

La prueba de hipótesis fue trabajada con un nivel de significancia  $\alpha = 0.05$  cuyo valor  $t=1.8595$  con  $n = 9-1= 8$  grados de libertad. La hipótesis nula ( $H_o$ ) será rechazada con la obtención de un valor de  $t < t_{\alpha}$ , correspondiendo así a un error tipo I (Anderson *et al.*, 2004).

Cuadro No. 4. Condiciones de aceptación de la hipótesis nula ( $H_o$ )

Conclusión	Condición de la población	
	$H_o$ verdadera	$H_a$ verdadera
Aceptar $H_o$	Conclusión correcta	Error de tipo II
Rechazar $H_o$	Error de tipo I	Conclusión correcta

La t experimental será determinada según la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\mu - x}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Donde

t = distribución de muestreo de la estadística de prueba.

$\mu$  = resultado promedio de las muestras.

x = valor promedio poblacional que aparece en  $H_0$ .

s = desviación estándar de la muestra.

n = n-1 grados de libertad.

(Anderson *et al.*, 2004)

## V. MARCO OPERATIVO

### A. Recabación y tratamiento de los datos.

Construir la curva de calibración, graficando absorbancia o altura del pico, en función de la concentración. Ajustar la curva mediante la ecuación de la recta:  $Y = mx + b$ .

A partir de las concentraciones determinadas en partes por billón fue calculada la concentración de arsénico total por peso de tejido (mg/kg). A continuación mediante el análisis estadístico, estos valores fueron comparados contra el límite máximo permisible de arsénico total establecido en la normativa de la Organización Panamericana de Salud (FAO/OPS) el cual es de 0.002 mg/Kg.

### B. Recursos.

#### 1. Recursos humanos.

- a. Autor: Diego Rodrigo Monsanto González.
- b. Asesora: Lda. Carolina Guzmán, Departamento de Toxicología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### 2. Colaboradores.

- a. Lic. Hayro Oswaldo García García, jefe de departamento de Control Ambiental de La Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- b. Lda. Carmen María Escribá. Laboratorio Nacional de Salud.
- c. Lic. Héctor Bol. Laboratorio Nacional de Salud.

#### 3. Recursos materiales.

- a. Equipo.
  - Homogenizador mecánico.
  - Horno de microondas marca Mars

- Espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros Varian 240NS.
- Balanza semi-analítica.
- Campana de extracción.
- Refrigerador congelador.

b. Materiales y cristalería de laboratorio.

- Reactivos:
  - Ácido nítrico grado analítico al 65%.
  - Ácido arsénico ( $H_3AsO_4$ ) G.R.
  - Agua bidestilada.
- Cristalería de laboratorio:
  - Matraces volumétricos de 100 mL.
  - Matraces volumétricos de 25 mL.
  - Pipetas volumétricas de 10 mL.
  - Micropipeta.
  - Espátulas acanaladas de acero inoxidable.
  - Tubos de ensayo con tapón de rosca.
  - Pizetas.
  - Beakers de 50 mL.

c. Recursos institucionales.

- Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Laboratorio de Farmacia de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Centro de Información y Asesoría Toxicológica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (CIAT).
- La Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).
- Laboratorio Nacional de Salud (LNS).

### C. Aspectos económicos.

Cuadro No. 5. Estimación de los costos de servicios y materiales requeridos para llevar a cabo esta investigación.

<b>Servicios y materiales</b>	<b>Costo (Q.)</b>	<b>Financiamiento</b>
Transporte y gasolina	1,500.00	Investigador
Muestras	400.00	Investigador
Uso del equipo	2000.00	Investigador
Reactivos y materiales de laboratorio	2000.00	Universidad del Valle de Guatemala
Materiales de oficina	500.00	Investigador
Uso de computadora	4,000.00	Investigador
Impresora	500.00	Investigador
<b>Total</b>	<b>10,900.00</b>	

## VI. RESULTADOS

A continuación se incluyen los resultados obtenidos de la presente investigación.

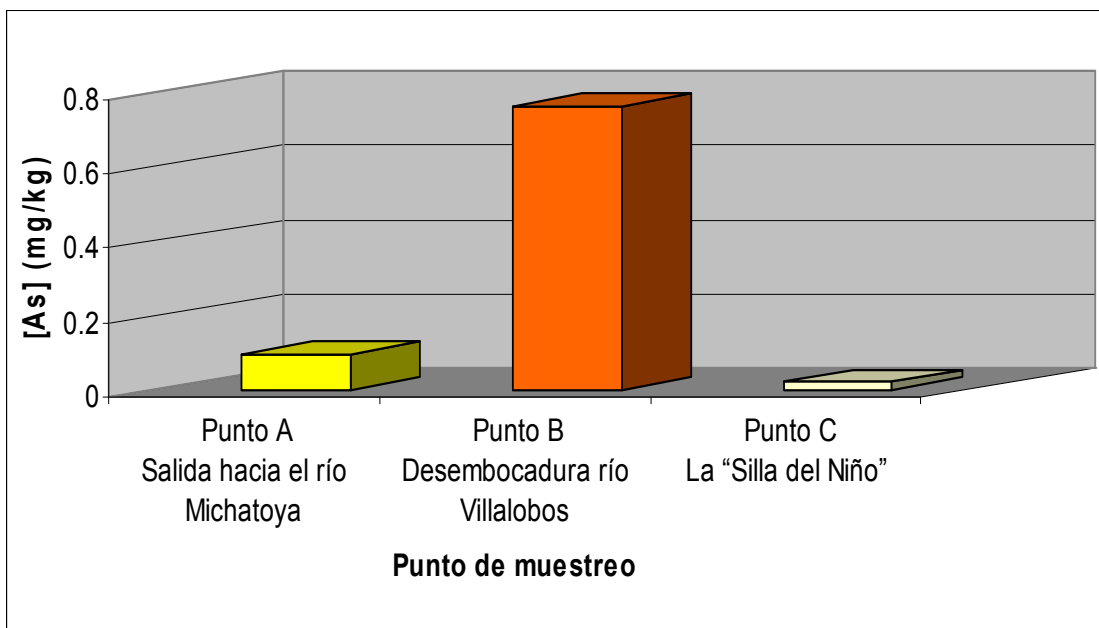
Cuadro No. 6. Concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular de *Cichlasoma managuense* recolectado en tres puntos del lago de Amatitlán.

Sector del lago de Amatitlán	Muestra	Concentración de arsénico (mg/kg)	Concentración promedio de arsénico (mg/kg)
Punto A Salida hacia el río Michatoya	1 A	0.0440 ± 0.0011	0.0951 ± 0.0046
	2 A	0.1359 ± 0.0221	
	3 A	0.1053 ± 0.0019	
Punto B Desembocadura río Villalobos	1 B	0.1136 ± 0.0021	0.7581 ± 0.0778
	2 B	0.5375 ± 0.0151	
	3 B	1.6234 ± 0.0084	
Punto C La "Silla del Niño"	1 C	0.0634 ± 0.0014	0.0221 ± 0.0035
	2 C	0.0003 ± 0.0001	
	3 C	0.0027 ± 0.0002	

Cuadro No. 7. Concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular del pez *Cichlasoma managuense* recolectado en el lago de Amatitlán y decisión de la prueba de hipótesis.

[As] promedio en <i>Cichlasoma managuense</i> (mg/kg)	Límite máximo permisible según FAO/OPS (mg/kg)	Decisión de la prueba de hipótesis
0.2918 ± 0.0411	0.002	Aceptar Ho

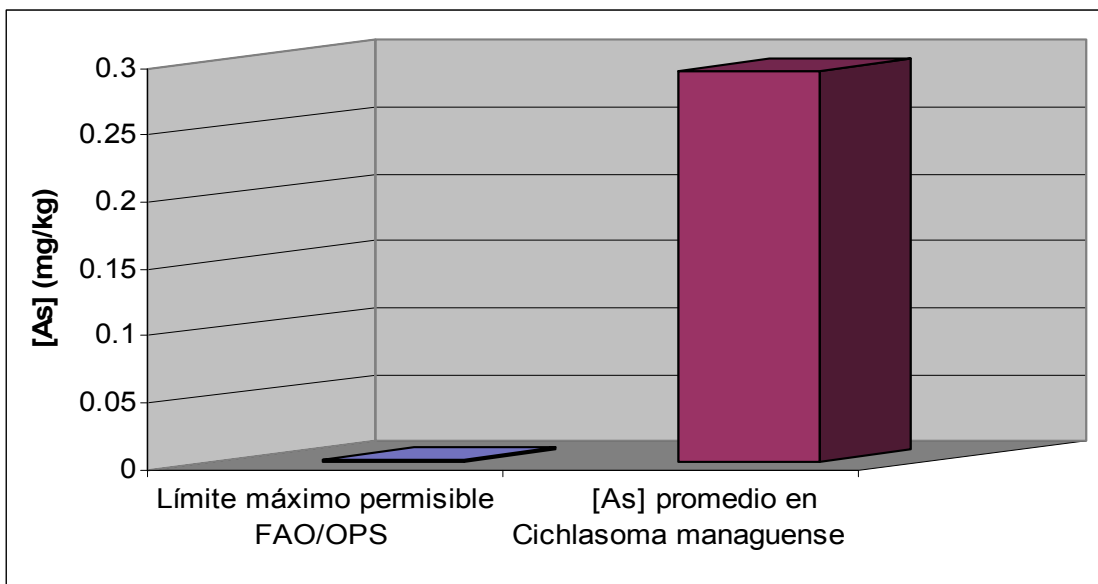
Gráfica No. 1. Concentración de arsénico promedio detectada en el tejido muscular de *Cichlasoma managuense* en función del punto de muestreo en el lago de Amatitlán.



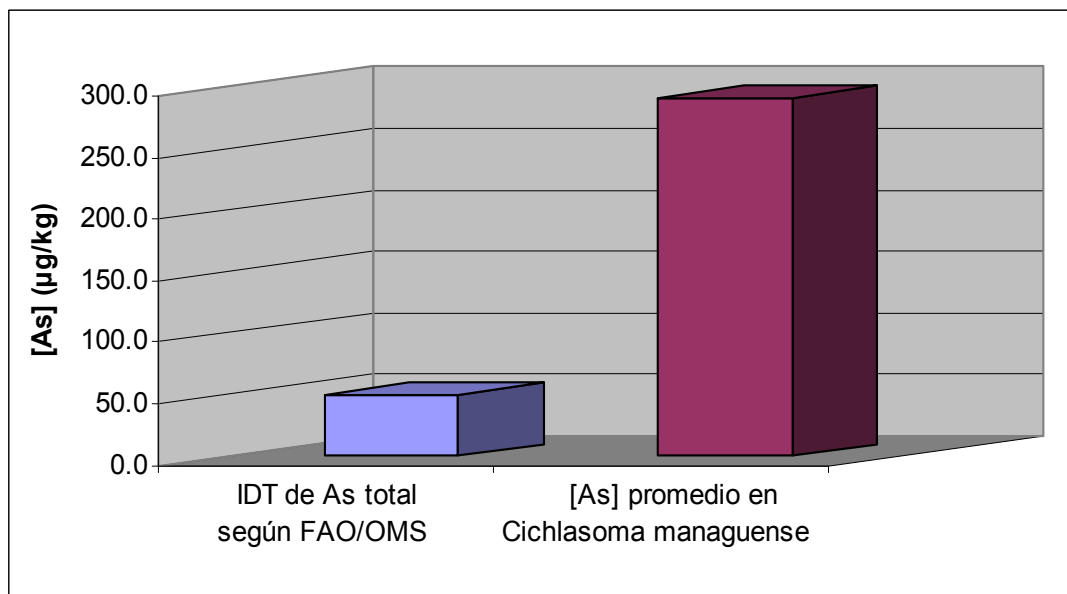
Cuadro No. 8. Comparación de la concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular del pez *Cichlasoma managuense* recolectado en el lago de Amatitlán contra la ingesta diaria tolerable de arsénico total (IDT) establecida por la FAO y la OMS.

[As] promedio en <i>Cichlasoma managuense</i> ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	IDT de As total según FAO/OMS ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )
291,8	50,0

Gráfica No. 2. Comparación de la concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular de *Cichlasoma managuense* contra el límite máximo permisible establecido por la FAO/OPS



Gráfica No. 3. Comparación de la concentración de arsénico total promedio detectada en el tejido muscular de *Cichlasoma managuense* contra la ingesta diaria tolerable de arsénico total (IDT) establecida por la FAO y la OMS.



## VII. DISCUSIÓN

Mediante esta investigación se cuantificó el nivel de arsénico total en el tejido muscular del pez perteneciente a la especie *Cichlasoma managuense* (también llamado guapote o pez tigre), el cual conforma la biota del lago de Amatitlán y forma parte de la dieta alimenticia de la población tanto del municipio de Amatitlán como de los municipios aledaños; con la finalidad de determinar si su consumo representa un riesgo para la salud y para marcar la tendencia de la contaminación del lago de Amatitlán.

El cuadro No. 6, presenta el nivel de arsénico total promedio detectado en el tejido muscular de “guapote”, recolectado en los tres sectores de interés del lago de Amatitlán. A partir de estos resultados, se constató que el Punto B, es decir la desembocadura del río Villalobos, es el sector en donde el pez contiene el mayor nivel de arsénico total, con un promedio de  $0.0951 \pm 0.0046$  mg/kg; mientras que en la salida hacia el río Michatoya (Punto A) el “guapote” demostró contener en promedio  $0.0951 \pm 0.0046$  mg/kg. El sector en donde se detectó la menor concentración promedio de arsénico total en el tejido muscular del pez tigre fue en la “Silla del Niño” (Punto C) con  $0.0221 \pm 0.0035$  mg/kg. En los tres sectores evaluados, la concentración de este metal en el tejido muscular del “guapote” sobrepasa el nivel máximo permisible definido por la FAO/OPS, el cual es de 0.002 mg/kg. Por lo tanto, con base en estos resultados, se constató la mayor contaminación del pez con arsénico total se ubica en la desembocadura del río Villalobos y en menor medida en la salida hacia el río Michatoya pues estos drenan desechos al lago, tanto industriales, sanitarios como agrícolas, de los municipios de Villa Nueva, Villa Canales, Mixco, San Miguel Petapa, Santa Catarina Pinula, de la parte sur de la ciudad de Guatemala, así como de las poblaciones y asentamientos ubicados en las riberas del lago. Cabe recalcar que la desembocadura de los dos ríos mencionados son los puntos de mayor densidad poblacional de *Cichlasoma managuense* ya que al ser un pez carnívoro, se alimenta de la gran cantidad de desechos orgánicos drenados por ambos ríos por lo que su exposición a los desechos industriales y agrícolas que contienen compuestos arsenicales y otros contaminantes también drenados por los ríos Michatoya y Villalobos es inminente. En la “Silla del Niño” se detectó en las muestras del pez la menor contaminación con arsénico, pero que aún así sobrepasa el nivel máximo permisible establecido por la FAO/OPS. La “Silla del Niño” se encuentra ubicada en las cercanías del río Villalobos (Anexo No.1), por lo que la movilidad del agua por las corrientes del lago ha provocado una dispersión de los desechos drenados por este río. Por otra parte, se observó que las concentraciones de arsénico total variaron de una muestra a otra aún si fueron recolectadas en el mismo punto, como reflejo de la influencia de las variables independientes de este estudio. Entre estas variables se encuentran la fuente de

alimentación del pez, el momento del día en que se alimenta en relación con el momento del día en que fue recolectado y la edad; también la concentración de arsénico total en el agua y en los sedimentos del lago de Amatitlán.

Por su parte, en la gráfica No.1, se ilustra la drástica diferencia de los niveles de arsénico total en el *Cichlasoma managuense* de un sector a otro del lago, observándose en gran medida las graves repercusiones de las descargas de los desechos drenadas por el río Villalobos en la ictiofauna del lago.

En el cuadro No. 7, se presenta la concentración promedio general de arsénico total detectada en el tejido muscular del pez *Cichlasoma managuense* del lago de Amatitlán, este valor es de  $0.2918 \pm 0.0411$  mg/kg, sobrepasando el límite máximo permisible definido por la normativa de la FAO/OPS el cual es de 0.002 mg/kg. Por lo tanto, con base en los resultados obtenidos la decisión de la prueba de hipótesis establecida con un nivel de confianza del 95% es aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ), es decir que en efecto la concentración de arsénico total en tejido muscular de *Cichlasoma managuense*, parte de la ictiofauna del lago de Amatitlán, excede el nivel permisible de 0.002 mg/Kg según la FAO/OPS, por lo que su consumo representa un riesgo para la salud.

Por otra parte, la FAO y la OMS han establecido la ingesta diaria tolerable (IDT) de arsénico total en 50  $\mu\text{g}/\text{Kg}$  de peso por lo que al consumir un alimento, tal como el "guapote", con un nivel de arsénico total de 291.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso, o sea más de cinco veces la IDT existe el riesgo de acumulación de este metal en el organismo.

En la intoxicación crónica, por compuestos arsenicales, por exposición a largo plazo ya sea a través del agua o de la ingesta de alimentos, se observan en el organismo efectos multisistémicos, tales como: fatiga, gastroenteritis, leucopenia, anemia, elevación de las transaminasas, hipertensión portal no cirrótica, neuropatía periférica sensoriomotora, insuficiencia vascular periférica, y líneas de Mees-Aldrich entre otros. Asimismo se describen alteraciones cutáneas tres a siete años después de comenzar una exposición (hipopigmentación e hiperpigmentación, hiperqueratosis).

A nivel del sistema nervioso central, la exposición a largo plazo a compuestos arsenicales genera una neuropatía periférica que llega a ser progresiva y afectar neuronas tanto sensitivas como motoras; que conduce a la desmielinización de fibras nerviosas de axones largos; todos efectos relacionados con la dosis. Es importante recalcar que desde 1987, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) identificó al arsénico y a los compuestos

arsenicales como agentes carcinogénicos para el ser humano. En este sentido, se han descrito como efectos de la intoxicación crónica con compuestos arsenicales neoplasias en la vejiga, el riñón y el hígado.

Estas exposiciones crónicas que causan efectos más graduales e insidiosos, pueden ocurrir durante un periodo de años y ha sido difícil establecer relaciones entre dosis-respuesta.

Ahora bien, un estudio efectuado en 1997, reveló un nivel de arsénico total en tejido muscular de *Cichlasoma managuense* (guapote o pez tigre) de 1.008 mg/kg. Diez años después, a través de este estudio, se ha determinado un nivel de 0.2918 mg/kg en el guapote, es decir una reducción de más de tres veces del nivel de arsénico total en el pez. Es probable que esta tendencia sea el resultado de las medidas de mitigación a corto, mediano y largo plazo para rescatar el lago de Amatitlán propuestas por la Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA) a raíz de los resultados de estudios que constituyen el plan de monitoreo anual de los ríos tributarios principales y aguas derivadas de industrias, de urbanizaciones y agrícolas.

## VIII. CONCLUSIONES

1. El nivel de arsénico total detectado en el tejido muscular del pez perteneciente a la especie *Cichlasoma managuense* recolectado en la desembocadura del río Villalobos fue de  $0.7581 \pm 0.0778$  mg/kg mientras que en los peces recolectados en la salida hacia el río Michatoya fue de  $0.0951 \pm 0.0046$  mg/kg; los peces recolectados en la “Silla del Niño” revelaron una concentración de  $0.0221 \pm 0.0035$  mg/kg.
2. En los tres sectores, la concentración de arsénico total evaluado en el tejido muscular del “guapote” sobrepasó el nivel máximo permisible definido por la normativa de la FAO/OPS, el cual es de 0.002 mg/kg; el más contaminado con este metal fue el pez recolectado en la desembocadura del río Villalobos, seguido del recolectado en la salida hacia el río Michatoya y por último el menos contaminado el extraído en la “Silla del Niño”.
3. Las descargas en grandes medidas de desechos industriales, sanitarios y agrícolas drenadas por el río Villalobos son las que producen el mayor impacto en el nivel de contaminación con arsénico en el pez tigre.
4. Variables independientes de este estudio tales como la fuente de alimentación del pez, el momento del día en que se alimenta en relación con el momento del día en que fue recolectado y la edad; también la concentración de arsénico total en el agua y en los sedimentos del lago de Amatitlán produjeron marcadas variaciones de una muestra a otra de los niveles de arsénico total detectado.
5. El promedio general de arsénico total detectado en el tejido muscular del pez *Cichlasoma managuense* del lago de Amatitlán fue de  $0.2918 \pm 0.0411$  mg/kg, valor que excede el límite máximo permisible según la normativa de la FAO/OPS, el cual es de 0.002 mg/kg; la decisión de la prueba de hipótesis con un nivel de confianza del 95% fue la de aceptar la hipótesis nula ( $H_0$ ) por lo que en efecto la concentración de arsénico total en tejido muscular de *Cichlasoma managuense*, parte de la ictiofauna del lago de Amatitlán, excede el nivel permisible de 0.002 mg/Kg según la FAO/OPS, por lo que su consumo representa un riesgo para la salud.
6. El nivel de arsénico total detectado en el guapote del lago de Amatitlán en este estudio ( $0.2918 \pm 0.0411$  mg/kg) es menor que el nivel detectado en un estudio efectuado en 1997, el cual reveló una concentración promedio de 1.008 mg/kg de arsénico total; por lo

que se constató una tendencia de disminución de la contaminación con compuestos arsenicales de este pez.

## IX. RECOMENDACIONES

1. Elaboración de campañas informativas acerca del nivel de arsénico total detectado en el pez *Cichlasoma managuense* y de las repercusiones que esto produce en la salud de quienes consumen esta fuente de alimento de manera que la frecuencia con que es ingerido disminuya para evitar una intoxicación crónica.
2. Desarrollo de estudios de cuantificación de arsénico en habitantes del lago de Amatitlán y de los municipios aledaños y que consumen pez tigre con regularidad.
3. Creación de un programa epidemiológico en la población del lago de Amatitlán y de los municipios aledaños con la finalidad de detectar posibles eventos adversos atribuibles a la intoxicación crónica de arsénico como una estimación de la repercusión de la contaminación en los humanos.
4. Consumo diario de *Cichlasoma managuense* inferior a 0.17 kg (0.38 lb.) de manera a no sobre pasar la ingesta diaria tolerable (IDT) de arsénico total establecida por la FAO y la OMS para prevenir el acúmulo de este metal en el organismo y por ende evitar una intoxicación crónica por el mismo.
5. Elaboración de estudios de determinación del nivel de arsénico en las otras especies de peces, tales como la tilapia y la mojarra, que conforman la ictiofauna del lago de Amatitlán y que al igual que el guapote constituyen una fuente de alimento para los habitantes de Amatitlán y de los municipios aledaños.
6. Desarrollo de este estudio en otros sectores del lago como puntos de muestreo de *Cichlasoma managuense*, sobre todo en el cuerpo sur del lago de Amatitlán, para identificar otros puntos con altos niveles de contaminación por compuestos arsenicales.
7. Evaluación de otros metales pesados como plomo, cadmio, cobre en el tejido muscular del guapote ya que en caso sobrepasar los límites permisibles, estos también pueden representar un riesgo para la salud de quienes consumen esta fuente de alimento.
8. Incremento del número de muestras por sector de manera a reducir la influencia de las variables independientes en el estudio.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. *Análisis del Ambiente Biológico del Lago de Amatitlán*. 2005. Autoridad para el Manejo Sostenible de la Cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA), Guatemala.
2. Anderson, Sweeney, Williams. 2004. *Estadística para administración y economía*. 8<sup>va</sup> ed. Internacional Thomson editores S.A. México.
3. *As. Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers*. 1988. Varian. Australia.
4. Atlanta. 2005. *Reseña Toxicológica del Arsénico*. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR).EE.UU. Departamento de Salud y Servicios Humanos. Sitio Web: [http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html)
5. Contaminantes. 1984. Volumen XVII. Comisión del CODEX ALIMENTARIUS, Organización de las Naciones Unidas para el Agroindustria y Alimentos, Roma.
6. Córdoba, David. 2006. *Toxicología. Manual Moderno*, 5ta ed. Madrid, España.
7. *Determination of Arsenic by Atomic Absorption Spectrophotometry*. 2001. Food Safety and Inspection Service (FSIS). United States Department of Agriculture, Office of Public Health and Science. EE.UU.
8. Ferrer, Armando. 2003 *Intoxicación por metales*. ANALES Sis San Navarra Vol. 26, Suplemento 1. Unidad de Toxicología Clínica. Hospital Clínico Universitario. Zaragoza. España.
9. García, Hayro. 1997. *Determinación y cuantificación de metales pesados (Pb, As, Cd y Cr VI) y sustancias tóxicas (PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> y CN<sup>-</sup>) por métodos espectrofotométricos en tejido muscular de Cichlasoma managuense (Gunter) "guapote" o Pez tigre en el Lago de Amatitlán*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.

10. Gutiérrez, Rubén, 1994. *Descripción de especies encontradas en el río Lanquin, Alta Verapaz*. Centro de Estudios marítimos y acuícolas. CEMA, Universidad San Carlos de Guatemala. Guatemala.
11. *Plano con una vista del Lago de Amatitlán*. Instituto Geográfico Nacional "Ing. Alfredo Obiols Gómez" Guatemala
12. *Monografías de evaluación de riesgos carcinogénicos en humanos*. 1987. Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). Vol.23, Supl.7. Sitio Web: <http://monographs.iarc.fr/index.php>.
13. Moreno, Manuel. 2003. *Toxicología ambiental, Evaluación de riesgo para la salud humana*. Mcgraw-Hill, Distrito Federal, México.
14. Pape, Yuri; E. Ixcot, L. Gándara. 1998. *Economía ambiental y desarrollo sostenible: valoración económica del Lago de Amatitlán, Guatemala*: FLACSO Guatemala. Boletín del Instituto Nacional de Ecología INE. [México] en el año 2005. Sitio Web: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/286/pape.html>
15. *Programa de Recuperación Ambiental de la Cuenca y del Lago de Amatitlán*. 1996 ARRLA, Guatemala.
16. Suárez, Manuel, *et al.* 2004. *Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales*. Cuadernos de Medicina Forense N° 35. Tenerife, España.
17. Valle, Pedro. 1986 *Toxicología de alimentos*. Centro Panamericano de Ecología humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud. Metepec, México,

## XI. APÉNDICE

### A. Ubicación del lago de Amatitlán y de los puntos de muestreo.

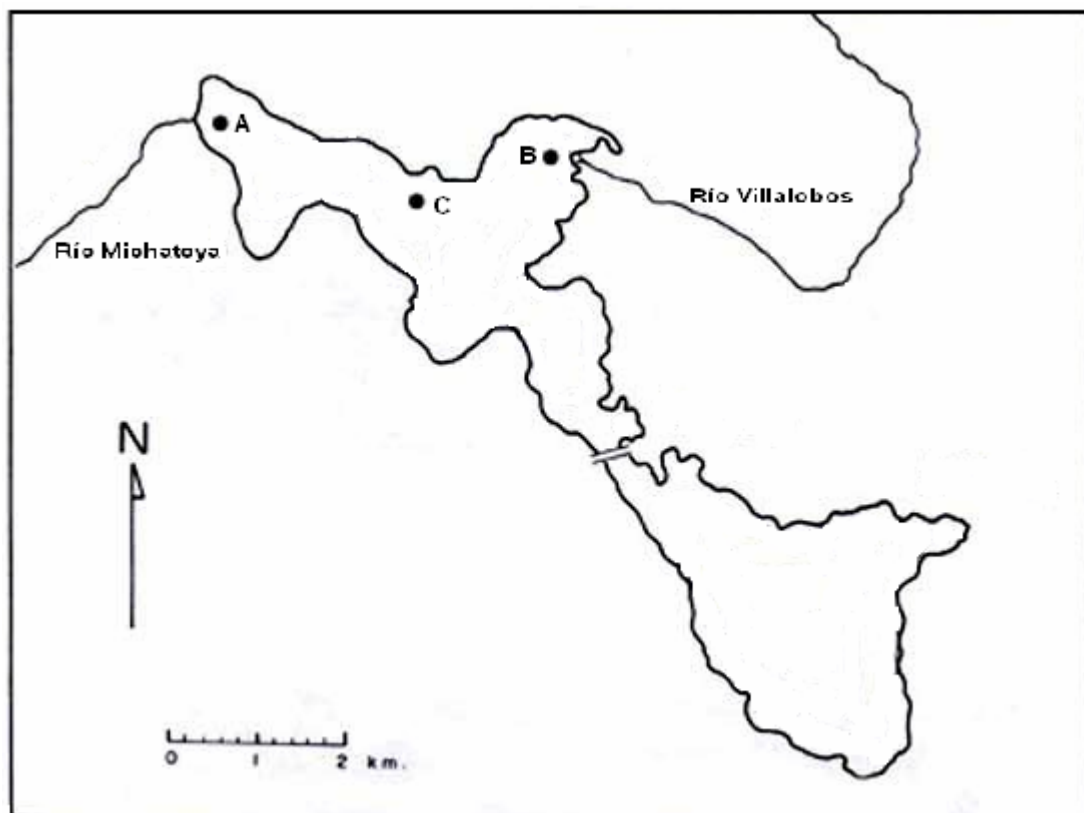


(a) Ubicación del valle de Guatemala y del Lago Amatitlán.



(b) Ubicación de la ciudad de Guatemala y del Lago Amatitlán (área sombreada).

B. Plano con una vista del Lago de Amatitlán, copiado del mapa del área perteneciente al Instituto Geográfico de Guatemala (1:50.000). El plano muestra los puntos de muestreo de *Cichlasoma managüense* A, B y C correspondientes a la salida hacia el río Michatoya, la desembocadura del Río Villalobos y a la “Silla del Niño” respectivamente.



## C. Boleta de muestreo.

Universidad del Valle de Guatemala  
 Facultad de Ciencias y Humanidades  
 Departamento de Química Farmacéutica  
 Trabajo de graduación



**CUANTIFICACIÓN DE ARSÉNICO EN TEJIDO MUSCULAR DE *Cichlasoma managuense* EN EL LAGO DE AMATITLÁN POR MEDIO DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA CON GENERADOR DE HIDRUROS**

**Boleta de muestreo de *Cichlasoma managuense* en el lago de Amatitlán.**

Fecha: \_\_\_\_\_

Hora: \_\_\_\_\_

Ubicación: \_\_\_\_\_

Muestra No.	Peso (unidad _____)
1	
2	
3	

Cantidad total de peces recolectados: \_\_\_\_\_

Recolector: \_\_\_\_\_ firma: \_\_\_\_\_