

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METALES PESADOS EN PECES COMESTIBLES  
DEL LAGO DE AMATILÁN POR REFLEXIÓN TOTAL DE RAYOS X

TESIS

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

DERICK ENRIQUE KESTLER SAN JUAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 1997

08

F(3953)

C04

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE METALES PESADOS EN PECES COMESTIBLES  
DEL LAGO DE AMATITLÁN POR REFLEXIÓN TOTAL DE RAYOS X

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA POR

DERICK ENRIQUE KESTLER SAN JUAN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ABRIL DE 1997

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



## FACULTAD DE INGENIERÍA

### MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Herber René Miranda Barrios
VOCAL 1o.	Ing. Miguel Ángel Sánchez Guerra
VOCAL 2o.	Ing. Jack Douglas Ibarra Solórzano
VOCAL 3o	Ing. Juan Adolfo Echeverría
VOCAL 4o.	Br. Víctor Rafael Lobos Aldana
VOCAL 5o.	Br. Wagner Gustavo López Cáceres
SECRETARIO	Inga. Gilda Castellanos de Ilescas

### TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Orlando Posadas
EXAMINADOR	Ing. Julio Alberto Rivera P.
EXAMINADOR	Ing. Julio Enrique Chávez Montúfar
SECRETARIO	Ing. Francisco González López



Ref.: \_\_\_\_\_

Ministerio de Energía y Minas  
Dirección General de Energía Nuclear

Guatemala, 30 de enero 1997

INGENIERO  
ADOLFO GRAMAJO  
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

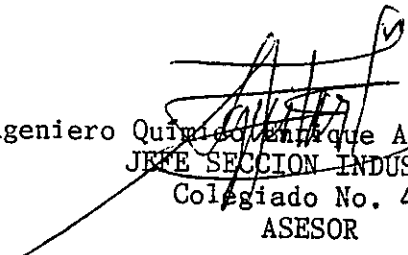
Ingeniero Gramajo:

Por medio de la presente me complace informarle que el estudiante DERICK ENRIQUE KESTLER SAN JUAN, ha finalizado su trabajo de investigación de tesis titulado DETERMINACION CUANTITATIVA DE METALES PESADOS EN PECES COMESTIBLES DEL LAGO DE AMATITLAN POR REFLEXION TOTAL DE RAYOS X, el cual fue desarrollado en el Laboratorio Analítico Nuclear en esta Dirección General.

Después de un proceso de revisión, me permito manifestar mi aprobación al contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, agradezco su amable atención y me suscribo de usted,

ATENTAMENTE,

  
Ingeniero Químico Enrique Aguilar Sandoval  
JEFE SECCION INDUSTRIAL  
Colegiado No. 447  
ASESOR





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

Guatemala,  
17 de febrero de 1,997.

Ingeniero  
Julio Chávez Montúfar  
Director Escuela Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Chávez.

Hago de su conocimiento que habiendo revisado el Informe Final de Tesis del estudiante Derick Enrique Kestler San Juan, titulado: **DETERMINACION CUANTITATIVA DE METALES PESADOS EN PECES COMESTIBLES DEL LAGO DE AMATITLAN POR REFLEXION TOTAL DE RAYOS X**, de la cual dejo constancia de mi aprobación al mismo, para proceder a la autorización del respectivo trabajo de investigación.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente,

Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. César García Guerra  
REVISOR



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química, Ing. Julio Chávez Montúfar, después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de Tesis del estudiante Derick Enrique Kestler San Juan titulado: DETERMINACION CUANTITATIVA DE METALES PESADOS EN PECES COMESTIBLES DEL LAGO DE AMATITLAN POR REFLEXION TOTAL DE RAYOS X, procede a la autorización del mismo.

Ing. Julio Chávez Montúfar  
DIRECTOR

ESCUELA INGENIERIA QUIMICA



Guatemala, 7 de abril de 1,997.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de Tesis titulado: **DETERMINACION CUANTITATIVA DE METALES PESADOS EN PECES COMESTIBLES DEL LAGO DE AMATITLAN POR REFLEXION TOTAL DE RAYOS X** del estudiante; **Derick Enrique Kestler San Juan** procede a la autorización para la impresión de la misma

**IMPRIMASE:**

Ing. Herbert René Miranda Barrios  
DECANO



Guatemala, 7 de abril de 1,997.

## ACTO QUE DEDICO

A DIOS

*Con su ayuda, somos más que vencedores*

A MIS PADRES

*Armando Kestler Calvillo  
Marta Lilia San Juan de Kestler  
por su esfuerzo y apoyo en todo momento*

A MI ESPOSA

*Mariola Yojana Molina de Kestler  
por su apoyo y comprensión*

A MIS HIJOS

*Ibben, Derick Gilberto, Kevin y Bryan  
como ejemplo y con mucho amor*

A MIS HERMANOS

*Lilian, Sergio, Carlos, Rita y Mario  
por su apoyo incondicional*

A MIS SOBRINOS

*Derick Estuardo, Ivan, Randy, Lissy,  
Jonathan y Carlitos  
con mucho cariño*

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.



## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Sección Industrial de la Dirección General de Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas, por haber facilitado todos los recursos necesarios para la realización del presente trabajo de tesis. Así mismo agradezco al Ingeniero Enrique Aguilar y al Ingeniero Cesar Garcia por su asesoría y apoyo para la realización de la misma.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCION</b>	01
<b>2.- ANTECEDENTES</b>	02
2.1 Espectrometría de reflexión total de rayos X	02
2.2 La Contaminación de la Cuenca del Lago de Amatitlán	03
2.3 Metales pesados	04
2.4 Metales pesados como parte componente de materia viviente	06
2.5 Sumario del rol biológico de elementos traza esenciales	07
2.6 Propiedades tóxicas de algunos elementos	09
2.7 Situación de la pesca y acuicultura en el Lago de Amatitlán	11
2.8 Estudios afines	13
<b>3.- JUSTIFICACIÓN</b>	15
<b>4.- OBJETIVOS</b>	16
<b>5.- HIPÓTESIS</b>	17
<b>6.- MATERIALES Y MÉTODOS</b>	18
6.1 Universo de trabajo	18
6.2 Medios	18
6.2.1 Recursos humanos	18
6.2.2 Recursos físicos	18
6.2.3 Recursos materiales	18
6.3 Metodología	20
6.4 Procedimiento	21
6.4.1 Secado y pulverización de la muestra	21
6.4.2 Digestión de la muestra	24
6.4.3 Cuantificación de metales pesados	24

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

<b>7. RESULTADOS</b>	25
<b>8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	29
<b>9. CONCLUSIONES</b>	31
<b>10. RECOMENDACIONES</b>	32
<b>11. BIBLIOGRAFIA</b>	33
<b>12. ANEXOS</b>	36
12.1 Información sobre el Lago de Amatitlán	36
12.2 Normas COGUANOR para agua potable	37
12.3 Concentración de metales pesados en lirios de agua	38
12.4 Dosis de Ingestion	39
12.5 Contenido normal de elementos para peces	40
12.6 Resultados individuales en el análisis del músculo de pescado	41
12.7 Gráficas de pareto para los resultados	45
12.8 Mapa del lago de Amatitlán	49

## LISTA DE ILUSTRACIONES

TABLAS	páginas
1. Muestra los resultados promedios obtenidos	25 a 28
2. Normas coguanor para agua potable	37
3. Concentración de metales pesados en lirios de agua	38
4. Dosis de ingestión	39
5. Contenido normal de elementos en porciones comestibles de pescado	40
6. Resultados experimentales	41 a 44

GRÁFICAS	
1. Gráfica de Pareto	45 a 48

FIGURAS	
1. Mapa del lago de Amatitlán	49

## GLOSARIO

### 1. Activación neutrónica

Método de análisis basado en la irradiación con neutrones a una muestra, identificando las radiaciones emitidas por medio de los radionucleidos producidos y la medida de su actividad.

### 2. Ambiente lénticos y lóticos

Denominación aplicada a los lagos y ríos, respectivamente.

### 3. Colimador

Es un dispositivo empleado para colimar o direccionar un haz de radiación. Siendo la acción de colimar la limitación del ángulo sólido en el que se emite la radiación de una fuente para obtener un haz sensiblemente paralelo.

### 4. Eficiencia de un detector

Al tratarse de la detección de una radiación determinada, se refiere a la razón entre el número de partículas o fotones detectados y el número de los que llegan al detector.

### 5. Encefalítis

Enfermedad caracterizada por la inflamación del encéfalo o masa cerebral.

### 6. Eutroficación

Proceso por el cual una masa de agua pasa de la condición oligotrófica o de baja productividad a la eutrófica o de elevada productividad.

### 7. Ictiología

Parte de la zoología que estudia los peces.

### 8. Inócuo

Se refiere a un material que no hace daño o que no representa un riesgo para la salud humana, independiente de su estado sólido, líquido o gaseoso

### 9. Limnología

Rama de la ciencia relacionada con la productividad biológica de las aguas continentales y con todas las influencias causales que la han determinado.

**10. Metal pesado** Denominación utilizada antiguamente para los elementos más pesados de la tabla periódica. Sonilizados en las industrias modernas, tales como Zn, Pb, Al, Fe, Ni, Cr, Cd, Hg y As. Los cuales representan un riesgo para la salud humana al ser inhalados o ingestados, ya que éstos no se metabolizan, sino se depositan en órganos específicos tanto en el cuerpo humano, como en animales, causando daño.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central



**11. Polución :**

Se deriva del latín polluere que significa manchar, ensuciar, cuyo término es general y aplicado a un ambiente alterado.

**12. Contaminación:**

Se deriva del latín contaminare que significa infectar, manchar o ensuciar, pero es específico para las aguas.

**13. Rayos X**

Radiación electromagnética producida en la desexcitación de los niveles electrónicos más profundos de los átomos cuyo número atómico es mayor que 10, su longitud de onda está comprendida entre  $5 \times 10^{-9}$  m y  $6 \times 10^{-12}$  m, aproximadamente. Para un elemento químico dado, el conjunto de los rayos X que puede emitir por desexcitación de sus niveles energéticos se les denomina rayos X característicos.

**14. Reflector**

Se denomina así a un material u objeto que refleja parte de la radiación incidente, en la producción de rayos X.

**15. Saturnismo**

Enfermedad provocada por intoxicación por plomo, caracterizada por problemas a nivel nervioso.

**16. Tóxico**

Sustancia o material que es venenosa, representando un riesgo para la salud humana.

**17. Toxina**

Sustancia proteínica elaborada por bacterias, parásitos, hongos, el cual es capaz de producir en el organismo efectos tóxicos.

## 1. INTRODUCCIÓN

De los 300 cuerpos de agua entre lagos y lagunas que existen en Guatemala, el lago de Amatitlán ubicado a 18 Km. de la ciudad capital, ha sido el más estudiado principalmente por su importancia como fuente de abastecimiento de agua, para consumo humano, riego, generación de energía eléctrica, pesca y recreación y como cuerpo de agua receptor de las aguas residuales de la cuenca.

El lago se enfrenta a una constante descarga de contaminantes que es transportada por tributarios de mayor y menor caudal, así como por descargas no puntuales. Con todas esas sustancias vertidas al lago, la composición natural del cuerpo de agua y en general, su hábitat se ve modificado.

La mayor cantidad de sustancias vertidas en la sección occidental del lago de Amatitlán provienen del río Villalobos, el cual transporta las descargas domiciliarias de aproximadamente la mitad de la población de la ciudad de Guatemala, incluyendo los desechos industriales de importancia considerable. La sección oriental recibe las descargas de afluentes de menor caudal localizadas en el Km. 27 y 27.5, que transportan las aguas mieles de los desechos de ingenios de azúcar y beneficios de café, viéndose además ambas secciones contaminadas por los desechos domiciliarios de los habitantes que le circundan y por las aguas de escorrentía que acarrearán sólidos consecuentes de la erosión y agroquímicos servidos en la cuenca.

Tomando como parámetro los límites máximos admisibles de la cantidad de metales en peces, se llevará cabo una cuantificación de metales pesados tales como K, Na, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Hg y Pb en peces comestibles del lago de Amatitlán, escogiendo para ello 2 especies:

a. MOJARRA NEGRA (CICHLASOMA TRIMACULATUN)

b. GUAPOTE TIGRE (CICHLASOMA MANAGÜENSE)

La reflexión total de rayos X (RTRX) será la técnica utilizada, la cual es relativamente nueva con potencial para ser una impresionante herramienta analítica para determinaciones elementales en una gran variedad de tipos de muestras, con alta sensibilidad y muy exacta.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Espectrometría de reflexión total de rayos X:

La reflexión total de rayos X ocurre cuando un haz colimado incide sobre una superficie plana, limpia y pulida de un reflector de un material dado. La incidencia debe llevarse a cabo a un ángulo que esté por debajo del ángulo crítico.

El reflector que es en forma de disco, debe poseer una superficie de alta calidad, ser extremadamente puro, sólido, químicamente resistente, sus líneas características deben estar fuera de la región a estudiar. En el centro debe de llevar la muestra a analizar y debe ser una película lo más delgada posible. El rayo colimado primario incide sobre la superficie del reflector con ángulos menores que el ángulo crítico.

Esto actúa en dos formas:

i) De todas las áreas que están cubiertas por la muestra, el rayo es eficientemente absorbido por la muestra y la excita de tal forma que emite radiación fluorescente, mientras que

ii) de las áreas sin muestra el haz es totalmente reflejado. (1)

-Ecuación fundamental para fluorescencia de rayos X:

$$I_i = G * K_i * e_i * R_{oid} * T$$

donde:

$I_i$  = Intensidad del elemento i

G = Factor geométrico

$K_i$  = Producto de los parámetros físicos fundamentales para el elemento y (a la energía de excitación:

Mo -  $K\alpha$  = 17.44 kev)

$e_i$  = Eficiencia del detector para la energía de emisión de la línea  $K\alpha$  del elemento i

$R_{oid}$  = Concentración del elemento i en gramos por centímetro cuadrado

T = Factor de absorción ( muestra fina ÷ 1)

y

$$K_i = W_i * O_i * (1-1/R)_i * f_i$$

donde:

$W_i$  = Producto fluorescente

$O_i$  = Coeficiente de absorción

$(1-1/R)_i$  = Factor de salto

$f_i$  = Intensidad relativa de la línea K del elemento i (1)



## 2.2 LA CONTAMINACIÓN DE LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN

El lago de Amatitlán ubicado a 18 Km. de la ciudad capital y a 14° 30' latitud norte y 90° 30' longitud oeste, con una superficie de 15 Km. cuadrados, con un área de la cuenca tributaria de 368 Km. cuadrados, por su importancia como fuente de abastecimiento de agua para consumo humano, riego, generación de energía eléctrica, pesca y recreación, y como cuerpo de agua receptor de las aguas residuales de la cuenca ha sido el más estudiado. (2)

Por dicho lago drenan por gravedad las aguas residuales domésticas y agroindustriales de alrededor de 370,000 personas y de 50 agroindustrias importantes de la parte sur de la ciudad de Guatemala, ya que se encuentra ubicado a 1,186 mts. sobre el nivel del mar, a diferencia de la ciudad de Guatemala que se encuentra a 1,500 mts. sobre el nivel del mar.

El proceso de deterioro del recurso suelo ha generado un desbalance en la dinámica de los ecosistemas. El deslave de los suelos que con las lluvias o riego son arrastradas junto con las descargas domésticas y agroindustriales contribuyen principalmente al deterioro del lago, no obstante su natural fuerza amortiguadora.

Bastarreacha determinó contaminación en sedimentos en este cuerpo de agua , luego Nidia Alvarez continuó el estudio en la cuenca del lago de Amatitlán , al realizar un estudio de metales pesados en lirios de agua, del cual también concluyó en que existe un alto grado de contaminación.

Con respecto a la limnología del lago de Amatitlán (Weiss, 1971- Tabarini de Abreu, 1983- Basterrechea, 1986) lo han definido preliminarmente como cálido monomítico, de acuerdo con la clasificación de Hutchinson y Loffler. Su estratificación dura aproximadamente 8 meses (de marzo a octubre). De los valores del disco Secchi (menor de 3 metros) las concentraciones de fosfato (10-40 ugr/l) y la abundancia de *MicroCystis aeruginosa* y *Lyngbya limnetica* se infiere que el lago de Amatitlán presenta un avanzado grado de eutroficación. (3)

## 2.3 METALES PESADOS

Hay una diferencia esencial para la acción de un tóxico disuelto en el agua, sobre los organismos que beben esa agua ,y sobre los seres vivos que viven permanentemente en el medio acuático y en contacto continuo con el tóxico.

La exposición continuada a un ambiente contaminado constituye más bien el objeto de la ecotoxicología, según la definición de Ramade, 1977: "El dominio más específico de la ecotoxicología se refiere al estudio de las consecuencias patológicas, para los seres vivientes, de su exposición simultánea a una microdosis de tóxicos diversos, presentes en el medio ambiente". (4)

Desde hace tiempo se reconoce que los seres vivos pueden acumular en su organismo sustancias que reciben del ambiente, de tal forma que algunos de sus órganos las llevan en concentraciones superiores a las que en éste existen. Por tal motivo, en ciertos organismos, en la naturaleza pueden encontrarse sustancias extremadamente raras en altas concentraciones.

A lo largo de las cadenas de alimentación en los ecosistemas, algunos elementos tóxicos como el mercurio, los insecticidas organoclorados, pueden en virtud de ese mismo principio, ser concentrados de forma que su acción tóxica sea potencializada por éste mecanismo.

Muchos de los llamados *METALES PESADOS* son extremadamente tóxicos para los peces y otros organismos acuático , aunque relativamente inócuos para el hombre. Así por ejemplo el cinc puede causar la muerte a peces no sólo en ríos, sino también en acuarios domésticos que reciben agua de tuberías de hierro galvanizado, donde la concentración es menor a 1 mg/l de ese metal.

Experimentos llevados a cabo por Branco, 1960 han demostrado que, entre varios otros factores, la turbulencia del agua ejerce un efecto significativo sobre la toxicidad del cinc y del cobre en peces, pues su acción tóxica depende de un proceso fisicoquímico de coagulación de la mucosidad en la región branquial, lo que puede acentuarse en alto grado por el movimiento del medio. El cinc y el cobre hallados en los ambientes lénticos y lóticos provienen en general, de su uso en la agricultura para controlar hongos y otras plagas de árboles fructíferos o también de residuos industriales.

El plomo, además de presentar una elevada toxicidad para los organismos acuáticos, es también tóxico acumulativo para el organismo humano y causa la grave enfermedad denominada Saturnismo.

A veces la concentración de plomo mineral en las aguas continentales pueden alcanzar niveles críticos. Lo mismo sucede con el proveniente de ciertas industrias (materiales eléctricos, por ejemplo). (4)

Entre todos los metales, el que ha causado mayor preocupación y en mayor número de investigadores es el mercurio, no sólo por la gravedad de la enfermedad que causa en los seres humanos sino también por el efecto acumulativo potencializado a lo largo de las cadenas tróficas naturales. En 1956 con motivo de una epidemia de una enfermedad nerviosa en familia de pescadores en bahía de Minamata, en Japón, se empezó a investigar la intoxicación por mercurio. La enfermedad se asemejaba a la encefalitis con disturbios sensoriales y motores más o menos generalizados. Dejo gran número de muertes y afectó a los animales domésticos, principalmente al gato. Un gran esfuerzo de investigación realizado en la región permitió determinar que el origen de la enfermedad tenía que ver con la alta concentración de mercurio en el pescado consumido.

Por algunos años, se determinó la forma del compuesto mercurial que los organos asimilan mediante la determinación de la concentración del mercurio como elemento. El mercurio en forma metálica y sus sales minerales no son muy asimilados por los organismos y se consideran menos tóxicos que los compuestos orgánicos de éste elemento. Entre los organomercuriales los que presentan radical alquil son los más tóxicos, en especial el metilmercurio; siendo ésta la forma encontrada en los alimentos contaminados en Minamata.

Jensen y Jernelov, que investigaron sedimentos orgánicos de lagos, descubrieron la metilación del mercurio realizado por bacterias, proceso en el cual el mercurio se integra en ecosistemas acuáticos merced a sus cadenas tróficas (Botolha y Parlatore, 1977). (4)

La contaminación del agua por el mercurio tiene su origen principalmente en la agricultura, por el empleo de sales de mercurio como fungicida, que se concentra especialmente en la semilla, y en la industria y en particular en la producción electrolítica de la sosa cáustica y del cloruro, instrumentos industriales, productos farmacéuticos, pinturas, catalizadores, explosivos y otras aplicaciones. (Botolha y Parlotere, 1977)

Algunos compuestos orgánicos de cinc empleados como fungicidas en plantas fructíferas (al igual que ciertos carbamatos) causan la muerte de peces cuando su concentración alcanza 0.01 mg/l (Branco, 1960). En forma de sulfato las concentraciones de cinc mencionadas como letales por distintos autores varían entre 0.3 y 100 mg/l. El cobre en forma de sulfato de cobre pentahidratado es letal en concentraciones que varían entre 0.1 y 0.8 mg/l según la especie de pez y diversas condiciones ambientales. Los peces son sensibles a las concentraciones de 0.1 y 0.4 mg/l de plomo.

En experimentos realizados con la planaria de agua dulce polycelis nigra (Hawkes, 1962) se ha demostrado el siguiente orden decreciente de sensibilidad de los metales: Ag, Hg, Cu, Au, Cd, Zn, Ni, Cr, Co, Al, K, Pb, Mn, Ca, Na y Sr. Parece haber una estrecha relación entre la toxicidad y la capacidad del elemento para formar elementos complejos con el protoplasma.

En relación con la sensibilidad de los peces, los metales presentan el siguiente orden decreciente de toxicidad (Doudoroff y Katz, 1953): Hg, Cu, Zn, Cd, Sn, Al, Ni, Fe trivalente, Fe bivalente, Ba, Mn, K, Ca, Mg y Na.

Aunque la principal acción tóxica de un compuesto metálico sea casi siempre el catión metálico pueden ocurrir variaciones del grado de toxicidad relacionados con la naturaleza del anión. Ya se ha demostrado por ejemplo, que los nitratos de sodio y calcio son más tóxicos a los peces que los cloruros correspondientes (Duodoroff y Katz, 1953) y además muchos investigadores han demostrado la influencia del oxígeno a determinado pH en la variación de la toxicidad de un mismo metal respecto a la misma especie. (4)

## 2.4 METALES PESADOS COMO PARTE COMPONENTE DE MATERIA VIVIENTE

### - Composición elemental de organismos vivientes:

El factor de concentración está definido por: la concentración del elemento en el organismo dividido entre la concentración del elemento en agua.

El volumen de materia viviente consiste en 11 elementos de muy bajo peso atómico: H, C, N, O, Na, Mg, P, S, Cl, K y Ca, siendo reconocidos como esenciales para la vida.

F, Si, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Sn y I, son elementos reconocidos como elementos traza esenciales para animales de sangre tibia.

Cantidades tóxicas de elementos traza esenciales para el hombre son conocidos con alguna certeza únicamente para:

Cobalto (490 mg)

Flúor (40 mg)

Yodo (1000 mg) (5)

Existen límites internacionales de ingestión establecidos, dados como dosis diaria máxima admisible, DDMA, dosis semanales de ingestión tolerables, IST, recomendados por la FAO/OMS en el codex alimentarios, en el cual se incluyen un gran número de metales tóxicos que representan un riesgo para la salud humana.

## 2.5 SUMARIO DEL ROL BIOLÓGICO DE ELEMENTOS TRAZA, ESENCIALES

### - *Vanadio (V):*

Hay indicaciones que la deficiencia de V interfiere en el metabolismo de los huesos y dientes. Se ha observado una inhibición de la síntesis de colesterol en tejido humano y animal.

### - *Cromo (Cr):*

Está extensamente distribuido en tejido humano en concentraciones extremadamente bajas y variables. La deficiencia de Cr se caracteriza por disturbios en el metabolismo de la glucosa, lípidos y proteínas. Es un cofactor con la insulina. Exposición crónica a altos niveles de Cr ha sido correlacionado con cáncer en el pulmón y daño en el riñón de animales.

### - *Manganeso (Mn):*

Elemento esencial en plantas y animales. Se ha demostrado que muchas enzimas son activadas por el Mn. Se ha demostrado deficiencias de Mn en animales y no en el hombre.

### - *Hierro (Fe):*

Vital en la vida de animales y plantas. El cuerpo humano contiene de 4 a 5 gr ó 60 a 70 ppm de Fe. Este es aproximadamente dos veces el nivel total de cinc y más de 20 veces el de cobre.

### - *Cobalto (Co):*

En animales es biológicamente activo cuando es incorporado en la vitamina B12.

### - *Arsénico (As):*

En bajas dosis estimula el crecimiento de plantas en formas orgánicas, y en animales el efecto beneficioso no ha sido bien establecido.

### - *Níquel (Ni):*

Es un elemento traza, distribuido extensamente en el tejido de plantas y animales en bajas concentraciones. Está presente en el RNA.

**- Cobre ( Cu ):**

Es probablemente, un constituyente funcional de todas las células. Existe una correlación entre el cobre y la actividad celular. Por lo menos 30 enzimas y proteínas que contienen Cu han sido reportadas.

**- Zinc ( Zn ):**

Este elemento está presente en plantas y animales en concentraciones frecuentemente comparables con la del hierro. El pigmento melanina, natural en la piel, es extremadamente rico en Zn. El Zn es requerido en la actividad de muchas enzimas y está involucrado en la síntesis del RNA y proteínas.

**- Selenio ( Se ):**

Se encuentra en todas las células y tejido humano en diferentes concentraciones. Es necesario para el crecimiento y fertilidad en los animales.

**- Estaño ( Sn ):**

Elemento esencial para mamíferos. El Sn es pobremente absorbido y retenido en el hombre, encontrándose que afecta el tracto intestinal.

**- Yodo ( I ):**

Se ha demostrado que no es esencial para plantas. 70 a 80% del I está presente en la síntesis de la hormona tiroidea. (5)

## 2.6 PROPIEDADES TÓXICAS DE ALGUNOS ELEMENTOS

El efecto tóxico de metales pesados sobre organismos vivos ha sido considerado por mucho tiempo exclusivamente como un problema de exposición de trabajadores industriales y de accidentes de envenenamiento durante la niñez. A continuación, se enumeran las propiedades tóxicas de algunos elementos, principalmente las conclusiones de libros por Underwood y Sitting como lo más reciente en la literatura científica: (5)

### - *Arsénico (As)*:

Es más tóxico en sus formas químicas. Los compuestos de arsénico pueden ser ingestados, inhalados o absorbidos a través de la piel. La concentración permitida de As en aire recomendada es de 2 microgramo por metro cúbico de aire.

### - *Cromo (Cr)*:

La exposición a cromatos hexavalentes se ha observado la producción de irritación de la piel y el tracto respiratorio, dermatitis, úlceras y hasta cáncer del tracto respiratorio.

### - *Cobre (Cu)*:

Puede causar anemia hemolítica y necrosis hepática. La toxicidad del Cu es causa fundamental de la enfermedad de Wilson's. El rango de concentración de toxicidad de Cu en agua para peces es de 0.01 a 1.7 ppm. La concentración permitida de Cu en agua (bebidas) es 1 ppm, en aire 0.2 mg por metro cúbico de aire.

### - *Plomo (Pb)*:

Muchos compuestos de plomo son muy insolubles y de esto resulta su deposición en los huesos. Un especial problema es el envenenamiento con plomo orgánico. El tetraetilplomo es 100 o más veces tóxico que el plomo inorgánico.

Los efectos de envenenamiento con plomo incluyen: pérdida del apetito, sabor a metal en la boca, dolor de cabeza e irritación nerviosa.

### - *Mercurio (Hg)*:

La toxicidad del mercurio varía grandemente con sus formas químicas. El mayor riesgo para la salud es la contaminación, la cual es debida a la presencia del mismo en peces, en donde casi enteramente se encuentra en forma metilado.

Los alimentos son principalmente la fuente de contaminación de Hg en personas no ocupacionalmente expuestas y los productos de mar cuentan con metilmercurio. Hg en otros alimentos que no sean peces, está presente a concentraciones abajo de 60 g/kg.

En ecosistemas acuáticos, el Hg se convierte en alguna forma química a metilmercurio, el cual es acumulado por organismos acuáticos; obteniéndose efectos críticos en el sistema nervioso con exposición al metilmercurio.

Distribución de mercurio en el pelo refleja a lo largo la exposición en el pasado del sujeto y la concentración en la sangre.

***Níquel (Ni):***

Relativamente de baja toxicidad. Muy tóxico es el carbono de níquel, un líquido inflamable que se descompone en níquel metálico y monóxido de carbono.

Las exposiciones al níquel que es transportado por aire en forma de polvo y a los vapores puede producir cáncer en los pulmones y en los senos, desórdenes del sistema respiratorio y dermatitis.

***- Selenio (Se):***

Este elemento atrajo la atención de la comunidad científica después que éste fue encontrado a ciertos niveles de toxicidad en el crecimiento de plantas en ciertos suelos.

Todos los componentes del Se son tóxicos a humanos y animales. La inhalación de polvo de selenio, humo o vapores provoca la irritación de las membranas de los ojos, nariz, garganta y tracto respiratorio en humanos. En animales produce neumonía, degeneración del hígado y riñón. Puede causar cáncer del hígado.

***- Vanadio (V):***

Es tóxico para animales y humanos. Si es inhalado hasta concentraciones relativamente bajas ( menos que 1000 mg por metro cúbico ) resulta la inhibición de la síntesis de colesterol, cisteína, otros aminoácidos y hemoglobina.

La exposición a V a concentraciones mayores que 1000 mg por metro cúbico de aire provoca: irritación gastrointestinal y del tracto respiratorio, anorexia, tos, destrucción del epitelio en los pulmones y riñones, neumonía, bronquitis y daño del sistema nervioso de melancolía a histeria. La concentración máxima permisible en agua de beber debería ser 0.1 mg por litro.

***- Cinc (Zn):***

La forma mas común de envenenamiento por Zn en humanos no es fatal. Fiebre es causada por la inhalación de vapores de óxido de cinc. Ingestión de alimentos ácidos preparados en contenedores de Zn galvanizados dan como resultado una enfermedad. Cuando los animales inhalan aire contaminado se les daña el pulmón y el hígado.

Concentraciones permitidas: 1 mg por metro cubico de cloruro de cinc en cigarrillo, 5 mg por metro cubico de óxido de cinc en cigarrillo, en agua para beber no debería existir; sin embargo, son permitidos 5 mg por litro.



## 2.7 SITUACIÓN DE LA PESCA Y ACUICULTURA EN EL LAGO DE AMATITLÁN

El lago de Amatitlán se localiza a 14° 30' latitud norte y 90° 30' longitud Oeste, con una superficie de 15 Km. cuadrados y una área de la cuenca tributaria de 368 Km. cuadrados. Puede ser considerado como dos lagos, ya que las características físicas, químicas y biológicas de cada área son diferentes, debido a que está dividido en dos secciones por un dique artificial de 1.4 Km. de largo que sirve para el paso del ferrocarril.

Con lo que respecta a la temperatura media del lago se tienen valores de 23 y 22°C en la superficie y a 15 mt. de profundidad, respectivamente.

De acuerdo con los registros históricos, la composición original de la ictiofauna en el lago de Amatitlán, en 1957 era:

Nombre Común	Nombre Científico
Pupo	Poecilia Mexicana
Siete Puntos	Poeciliopsis Grac
Pepesca	Astyanax Fasciatus
Cirica	Cichlasoma Nigrofasciatum
Mojarra Azul	C. Quttulatum
Guapote	C. Managuense

En la actualidad, el 90% de las capturas en éste lago corresponden al guapote tigre (Cichlasoma Managuense); sin embargo, antes de la introducción de dicha especie en 1934, la mojarra (C. Quttulatum) era el único pez de tamaño comercial en el lago y era estimado como pez comestible.

En 1959 se introdujo al lago 200 ejemplares de guapote tigre y 1592 de mojarra negra (C. Macracanthum). (2)

Sobre la distribución de los pescadores en las diferentes áreas de pesca, se tiene que se ubican principalmente en las localidades de Villa Canales, El cerrito, tacatón y Amatitlán. Les sigue en importancia San Miguel Petapa y en menor orden el salitre, Villa Nueva, belén y el relleno. (2)

A continuación, se presenta información de capturas y esfuerzo pesquero de las diferentes localidades del lago de Amatitlán durante el período de julio a diciembre de 1989, llevado a cabo por Arrivillaga Cortez, cuando se reabrió la pesca en el lago, después de más de un año de veda completa (Presidencia de la República, 1989): (2)

LOCALIDAD

*Mes Tacatón Cerritos Amatitlán Petapa V.Canales*  
(# de pescadores)

julio	5	7	1	5	1
agosto	6	9	2	6	11
septiembre	6	9	2	6	11
octubre	13	15	5	7	15
noviembre	19	16	22	14	17
diciembre	21	18	22	19	10

(captura mensual - libras)

julio	307	516	26	239	42
agosto	1273	2349	576	1172	1654
septiembre	1047	2252	506	608	1357
octubre	1460	3102	671	968	1722
noviembre	1998	2925	1672	1589	2004
diciembre	2522	2830	3306	1958	1175

## 2.8 ESTUDIOS AFINES

(1) Bastarrechea Díaz, Manuel, llevó a cabo un estudio de la contaminación en la cuenca del lago de Amatitlán, en el cual el análisis elemental manifestó presencia de Si, P, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Ni, Zn, Ga, As, Pb, Sr y Rb, en ambas secciones del lago, donde se estableció que todo el sedimento tiene una composición similar. El análisis cuantitativo manifestó ausencia de Hg en cantidades superiores a 100 ppm, el As y el Pb, se encontraron en concentraciones inferiores de 109 y 119 ppm, respectivamente, el Cu no superó las 500 ppm.

(2) Alvarez Rangel Nidia, llevó a cabo un estudio denominado análisis multielemental por reflexión total de rayos X, en tejido muscular de lobina micropterus (lacepade) y guapote ciclhasoma managuense (gunter), en la laguna de Chichoj, San Cristobal Alta Verapaz, Guatemala, cuyas conclusiones fueron que dichas especies estudiadas no son aptas para el consumo humano, por representar un riesgo para la salud humana, debido al grado de contaminación por metales pesados como K, Ca, Fe, Cu, Zn, Rb, Sr y Pb.

(3) Bacso, J. y Uzonyi, I. en su estudio del efecto del metilmercurio en pequeños animales y el uso de su pelo como un material de referencia para un control analítico de calidad para el Hg y metilmercurio (1991), mencionan sobre la circulación natural de mercurio en la biosfera de 30,000 a 150,000 toneladas.

Existe descarga dentro de la atmósfera por desgaste de la corteza terrestre y los océanos y adicionalmente 20,000 toneladas de mercurio son descargadas al ambiente cada año por actividades humanas, como la combustión de fósil de combustible y otras descargas industriales.

(4) Gras, N., Thirck, M y Muñoz, L. en su estudio de la variabilidad estacional y geográfica en algunos elementos traza, en dos diferentes bahías del septentrional norte de Chile, hablan de una investigación de una gran demanda sobre un mercado internacional. Fueron colectadas muestras para análisis, ya que la contaminación con metales pesados es reconocido como un problema en moluscos; a intervalos mensuales por 12 meses (Sept.87-Agosto-88).

La determinación de cobre se ha llevado a cabo mediante análisis por activación radioquímica de neutrones y otras trazas de elementos Cd, As, Br, Na, Se, Cr, Fe, Zn y Co.

(5) El-Assaly, F.M., El-Behay, A.Z., Mansour, M. y Roushdy, H.M. realizaron un estudio sobre aproximación de la radiación física en la evaluación de elementos en la toxina tetrodon, una de las toxinas más peligrosas del red sea fish tetrodon, llevándose a cabo una intercomparación de los niveles de eficiencia de determinaciones, pero la activación neutrónica y la técnica de fluorescencia de rayos X fueron bien aplicadas. El aprovechamiento físico fue distribuido colectivamente tabulado para su fácil comparación; la siguiente traza de elementos fueron encontrados en la toxina tetrodon: Fe, Cu, Zn, Se, Br, Sn, Sb y Pb. El error relativo en la activación neutrónica y fluorescencia de rayos X ha sido calculado con un 5% (más o menos) excepto para el Se, el cual fue del 10%.

(6) Kamel, Goday y Nicoli realizaron un estudio de la distribución de Cr, Cs, Fe y Co en corvina y camarón en la región de Piraguara, vecina a la planta nuclear de Angra, por medio de un análisis por activación neutrónica. Los valores obtenidos de cesio y cromo están en el mismo orden de límite de detección; sin embargo, los resultados obtenidos para Fe está n en el rango de 20 mu g/g a 60 mu g/g para peces y de 67 mu g/g y 411 mu g/g para el camarón. La concentración de cobalto está entre 0.026 a 0.35 mu g/g para peces y 0.074 a 0.24 mu g/g para camarón.

(7) Bayat, Raufi y Nejat en su estudio denominado determinación de mercurio y otros elementos tóxicos en peces y alimentos, mediante el análisis por activación y destrucción de neutrones, hablan sobre las concentraciones de mercurio en peces, arroz, tabaco y suero. Los contenidos promedio de mercurio en el pez Caspian Blanco son de 21.6 ppb por macho y 8.9 ppb por hembra, respectivamente; no fué encontrada contaminación significativa por mercurio en las muestras biológicas analizadas en este estudio.

(8) Suwirna, Surtipanti y Yatin en su estudio hablan sobre la determinación de Hg, Pb, Cd y Cr en especies de peces oceánicos: Pampus Chinansis, Sephea, Katsvomes y Penaeus, obtenidos desde julio de 1976 hasta febrero de 1977 hecha por medio de absorción atómica espectrométrica. El método involucra la destrucción húmeda con ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno al 30%, el mercurio fue destilado sin la adición de HBr y determinado por absorción atómica. En la alícuota del residuo, Pb y Cd fueron determinados también por absorción atómica.

Para cromo, las muestras fueron destruidas por incineración con  $Mg(NO_3)_2$  y después fue determinado con absorción atómica. Los resultados obtenidos en términos del rango de concentración fueron:

Hg - 0.18 - 0.31 ppm

Cd - 0.17 - 0.44 ppm

Pb - 0.05 - 0.56 ppm

Cr - 0.53 - 2.08 ppm

(9) Distribución de metales pesados Hg, Pb, Cd, Cr, Cu,y Zn en Peces fue el tema de estudio de Suwirna, Surtipanti y Las, en el cual se analizó el cerebro, branquias, intestinos, espinas y tejidos de peces utilizando para ello el método de absorción atómica, durante el período de enero a abril de 1979. Las muestras fueron obtenidas del pez kembung, bawal y mujair.

Para la determinación de mercurio, cada muestra fue tratada con ácido sulfúrico concentrado calentado a 70°C hasta que la digestión fue completa y se determinó por absorción atómica espectrofotométricamente. Para los otros metales, las muestras fueron destruidas por incineración con  $Mg(NO_3)_2$  previo esto a la determinación por absorción atómica. Los resultados obtenidos mostraron que las concentraciones de metales pesados son bajas en tejidos más que en otras partes, como para cerebro, branquias, intestinos y espinas.

### 3. JUSTIFICACIÓN

Se han llevado a cabo estudios del lago de Amatitlán, de la contaminación de sus aguas, de sus sedimentos, sus lirios de agua, eutroficación, etc. Como parte complementaria y muy importante es la cuantificación de metales pesados en peces de consumo humano, siendo de ésta forma de interés no sólo para para la población del lago de Amatitlán sino para el país en general.

Es posible llevar a cabo un estudio de metales en peces por métodos convencionales de análisis, reportando inconvenientes, por ejemplo: no es posible la medición de muestras de concentración elemental muy baja y de no ser así, se obtiene baja precisión en los resultados..

La razón de usar reflexión total de rayos X, es que la fuente de excitación es un tubo de rayos X de molibdeno, que permite una excitación más eficiente y un fondo muy bajo, con lo cual se obtienen límites de detección en el rango de los ppb. Esto permite analizar una muestra en menor tiempo, que en el método de fluorescencia de rayos X convencional ,con tubo en geometría de 45° o fuente radiactiva.

La importancia del conocimiento de los niveles de concentración de metales pesados en peces comestibles, es llevar a cabo una evaluación del grado de contaminación de los mismos, para así determinar su aptitud de consumo mediante una comparación con los límites máximos admisibles de metales en peces, por un método rápido, preciso y exacto.

#### 4. OBJETIVOS

1. Analizar muestras de las especies de peces guapote tigre y mojarra negra, provenientes del lago de Amatitlán, para evaluar la presencia de los siguientes metales: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Hg y Pb.

2. Establecer el grado de contaminación por metales pesados, que puedan presentar las especies de peces en estudio del lago de Amatitlán, por comparación con límites internacionales establecidos por la FAO/OMS en el codex alimentarios.

3. Establecer la variación de las concentraciones de dichos metales pesados, durante el período de muestreo, entre especies y puntos de recolecta o muestreo.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

## 5. HIPÓTESIS

Los peces comestibles del lago de Amatlán se encuentran contaminados por metales pesados, debido a la descarga de desechos industriales y municipales sin previo tratamiento en las aguas del lago y sus afluentes.

Existe variación estadísticamente significativa en los niveles de concentración de metales pesados en el músculo de los peces en estudio, tanto entre especies , puntos de muestreo y las épocas del año que abarca el tiempo de recolecta de las muestras.

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Universo de trabajo:

Se realizaron las mediciones necesarias para la cuantificación de metales pesados en peces comestibles del lago de Amatitlán. Para la cuantificación se utilizaron 18 muestras de la especie mojarra negra y 18 muestras de peces de la especie guapote tigre, los cuales se recolectaron en 3 muestreos para dos puntos de referencia previamente establecidos.

### 6.2 Medios:

#### 6.2.1 Recursos humanos

El autor del trabajo: Derick Enrique Kestler San Juan

El asesor del trabajo: Ing. Quim. Enrique Aguilar

El Revisor del trabajo: Ing. Quim. Cesar García

#### 6.2.2 Recursos físicos

Sección de industrial de la Dirección General de  
Energía Nuclear del Ministerio de Energía y Minas.  
Biblioteca de la Dirección General de Energía Nuclear  
Biblioteca de la Facultad de C.C.Q.Q. y Farmacia  
Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala  
Biblioteca del INCAP

#### 6.2.3 Recursos materiales

Generador de rayos X, Phillips PW 1729 con rango de 0- 50 kV y 0-100 mA con tubo de molibdeno.

1 analizador multicanal CANBERRA serie 35 plus

1 impresora EPSON

1 programa AXIL (Analysis of X-Ray spectra by iterative least-squares fitting) el cual fue desarrollado por la Universidad de Antwerp, Bélgica, para la deconvolución de espectros complejos de rayos X, por medio de un detector de Si(Li).



Espectómetro para reflexión total de rayos X, con ánodo de molibdeno

Detector de Si(Li) CANBERRA en baño de nitrógeno líquido

Muestras acuosas digeridas y preparadas de peces de las especies mojarra negra y guapote tigre

Campana extractora de gases

Horno blue M (40 - 200°C)

Balanza analítica

Pulverizador spex 800 (mixer mill)

Plancha de calentamiento *CORNING*

Bomba de digestión

Cristalería: pipetas volumétricas de 5 ml, beakers de 50 ml y cajas de petrí

*Reactivos:* \*ácido nítrico al 65%  
\* solución estándar de selenio 1000 ppm

### 6.3 METODOLOGÍA

1. Antes de realizar el muestreo, se llevó a cabo un estudio para elegir dos puntos de recolección de muestras, cada uno ubicado en regiones bajo influencias de cargas puntuales y no puntuales que actualmente afectan al lago. (Ver mapa en la sección de anexos).

2. Luego mediante pláticas y entrevistas con pescadores y consumidores del mismo lago, se determinó las especies más consumidas y abundantes, las cuales son:

- *Mojarra Negra (cichlasoma trimaculatum)*

- *Guapote Tigre (cichlasoma managuense)*

3. Las muestras se tomaron por triplicado, en cada punto; se depositaron en un termo para bajas temperaturas con hielo, para preservarlos para su traslado al laboratorio, y la pesca se realizó con una atarraya denominada de bolinche. (Ver sección de procedimientos).

4. Con las muestras en el laboratorio se procede a extraer el músculo para desecarlo, pulverizarlo, digerirlo y analizarlo por el método de reflexión total de rayos X para la evaluación de los siguientes metales pesados: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Rb, Sr, Hg y Pb. (Ver procedimientos).

## 6.4 PROCEDIMIENTOS

### 6.4.1 Secado y pulverizado de la muestra:

#### \* Materiales y equipo:

muestras de peces a analizar  
bisturí  
cajas de petrí  
desecadora  
balanza analítica  
pulverizador  
espátula

#### \* Procedimiento:

- a. Extraer con el bisturí la muestra de músculo animal al pescado ya descamado.
- b. Colocar la muestra del músculo animal en una caja de petrí, la cual debe estar debidamente rotulada con los datos de la muestra respectiva.
- c. Pesar la caja de petrí conteniendo la muestra del músculo animal y anotar el peso.
- d. Colocar la caja de petrí conteniendo la muestra del músculo animal en la desecadora a una temperatura entre 50 y 60 grados centígrados.
- e. Llevar a cabo pesos de las muestras diariamente hasta obtener un peso constante, lo cual indicará que está lista para ser pulverizada.
- f. Para llevar a cabo la pulverización de la muestra de pescado seco, se coloca en el vial del pulverizador, teniendo el cuidado de que esté lo suficientemente seguro.
- g. Se lleva a cabo el encendido del pulverizador durante un tiempo de 10 minutos para cada muestra.
- h. Se extrae la muestra del músculo animal pulverizado y se coloca en un frasco debidamente rotulado.
- i. El vial del pulverizador se lava con agua y detergente y por último se lava con agua destilada tres veces para cada muestra.

#### 6.4.2 Digestión de la muestra:

**\* Materiales y reactivos:**

muestras de músculo animal pulverizado  
ácido nítrico al 65%  
plancha de calentamiento CORNING  
beakers  
pipetas volumétricas  
perilla de succión  
balanza analítica  
pisetas  
guante de asbesto

**\* Procedimiento:**

- a. El recipiente de teflón debe estar debidamente lavado con agua destilada tres veces y seco.
- b. Pesar 0.05 g de muestra seca en el recipiente de teflón, teniendo el cuidado de que el peso no sea mayor de un centésimo en adelante, ya que puede sobrecargarse la bomba y explotar durante la digestión.
- c. Agregar 5 ml de ácido nítrico al 65% a la muestra seca dentro de la campana de extracción. No debe agregarse más de 5 ml, ya que puede sobrecargarse la bomba y explotar durante la digestión.
- d. Armar la bomba de digestión tomando en cuenta que la tapadera debe apretarse hasta que ya no gire con la mano. No debe estar excesivamente apretada.
- e. Colocar la bomba de digestión en el campo de calentamiento.
- f. Encender el regulador del proceso de digestión, pasando el control de "0" a "I".
- g. Presionar la tecla ON y aparecer en la pantalla:  
  
Start mit O (INICIAR)  
presionar la tecla Cl (Clear), entonces aparece:  
Start mit --- (INICIAR)  
  
Ingresar el número 40 (que es el primer paso del programa para la digestión)
- h. Presionar el botón verde que está sobre el aparato para que empiece a funcionar el programa de digestión.

**El programa consiste de cuatro etapas:**

1. Se eleva la temperatura hasta 75°C y se mantiene allí durante 15 minutos.
2. Se eleva la temperatura hasta 125°C y se mantiene allí durante 15 minutos.
3. Se eleva la temperatura hasta 160°C y se mantiene allí durante 15 minutos. Termina la etapa de calentamiento.
4. Etapa de enfriamiento:

La temperatura a llegar es de 20°C. Tarda en llegar a dicha temperatura dos horas o más, por lo que hay que apresurar este tiempo, conectando el sistema de enfriamiento con agua del chorro y las mangueras respectivas. Se debe encender el chorro poco a poco y debe tenerse cuidado porque lo primero que sale por la manguera de salida es vapor de agua y luego ya sale agua, pudiendo así abrir el chorro un poco más.

Para enfriar la bomba de digestión más rápido, se recomienda hacerlo con el guante de asbesto y colocarla en la campana de extracción encendida. También se puede enfriar colocándola en el lavadero dejando correr el agua pero no encima de la bomba sino sólo por la base. No se debe echar agua sobre la bomba porque esta se arruina. Se recomienda el enfriamiento en la campana de extracción por ser el más rápido y seguro método, ya que se desprenden vapores de ácido durante el enfriamiento y así se evita el contacto con los mismos.

- i. Cuando la bomba está a una temperatura soportable, con la palma de la mano, proceder a destaparla poco a poco utilizando un guante.
- j. Para sacar el recipiente de teflón debe presionarse la parte de abajo de la bomba cuidadosamente con un poco de fuerza y colocar los dedos en la parte de arriba para que no vaya a saltar la tapadera y salirse el contenido del recipiente.
- k. Se procede luego a destapar el recipiente con cuidado por los vapores que salen de ácido. Se lava la tapadera con agua destilada para quitar el residuo que quedó en ésta. Se agrega el contenido del recipiente de teflón a un recipiente de polietileno debidamente lavado con agua destilada y rotulado, realizando tres lavados con agua destilada.
- l. Lavar la bomba de digestión con suficiente agua y jabón. El recipiente de teflón debe lavarse con agua jabonosa, no pasarle estropajo para no arruinar el teflón; finalmente, se le hacen tres lavados con agua destilada y se deja secar.
- m. Para apagar el digestor, se pasa el control de "I" a "O".

#### 6.4.3 Cuantificación de metales pesados:

- a. Agregar 200 ul de estándar interno de selenio 1000 ppm al recipiente. Agitar; rotular la cantidad de estándar agregado.
- b. Colocar aproximadamente 2 ul en el centro del reflector de cuarzo. Secar en la desecadora conectada al sistema de vacío.
- c. Encender el generador de rayos X y fijar las condiciones de operación en 40 Kv. y 20 mA (Mo/40/20). Verificar que el sistema de reflexión total esté alineado. Colocar el reflector e irradiar la muestra por 1000 seg. Hacer cada muestra por duplicado.
- d. Grabar el espectro obtenido por medio del multicanal, en el disco duro de la computadora.
- e. Obtener las áreas de los fotopicos de las líneas k-alfa de los elementos de interés, por medio del programa para computadora AXIL.
- f. Para los cálculos, utilizar la siguiente fórmula:

$$C_i = (I_i * C_s) / (I_s * K_i/s) \quad (1)$$

donde:

- $C_i$  = Concentración del elemento i en la muestra en solución  
 $C_s$  = Concentración del standard interno en la solución  
 $I_i$  = Intensidad del elemento i  
 $I_s$  = Intensidad del estándar interno  
 $K_i/s$  = Constante de sensibilidad del estándar interno respecto al elemento de interés

Además:

$$C_i = m_i/m_d \quad (2)$$

donde:

- $m_i$  = Masa del elemento i en la muestra en solución  
 $m_d$  = Masa de muestra pesada y digerida de músculo animal de la especie analizada. Calcular la concentración en base seca.

## 7. RESULTADOS

Resultados promedios en el análisis de metales pesados por reflexión total de rayos X para puntos de muestreo y especies en las épocas de muestreo.

TABLA 1

Ca (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 3184.35			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
3269.3	3094.4	3113.9	3259.8

TABLA 2

Co (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.014			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.011	0.017	0.014	0.013

TABLA 3

Cr (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.041			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.023	0.058	0.038	0.045

**Resultados promedios en el análisis de metales pesados  
por reflexión total de rayos X para puntos de muestreo y  
especies en las épocas de muestreo.**

TABLA 4

Cu (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 2.639			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
2.222	3.056	2.944	2.333

TABLA 5

Fe (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 21.444			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
21.444	20.667	25.556	20.667

TABLA 6

Mn (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.089			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.092	0.086	0.095	0.082



**Resultados promedios en el análisis de metales pesados por reflexión total de rayos X para puntos de muestreo y especies en las épocas de muestreo.**

TABLA 7

Ni (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.031			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.029	0.034	0.030	0.030

TABLA 8

Pb (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.602			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.558	0.633	0.629	0.590

TABLA 9

Se (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.360			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.298	0.460	0.348	0.332

**Resultados promedios en el análisis de metales pesados  
por reflexión total de rayos X para puntos de muestreo y  
especies en las épocas de muestreo.**

TABLA 10

Sr (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.153			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.139	0.166	0.166	0.140

TABLA 11

Ti (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.020			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.016	0.024	0.022	0.018

TABLA 12

V (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 0.003			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
0.022	0.031	0.026	0.028

TABLA 13

Zn (ppm)			
PROMEDIO GENERAL: 41.730			
PROMEDIO POR PUNTO		PROMEDIO POR ESPECIE	
PUNTO 1	PUNTO 2	GUAPOTE	MOJARRA
50.14	36.51	49.54	30.72

## 8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los metales pesados detectados en el análisis por reflexión total de rayos X, en las dos especies de peces estudiadas del lago de Amatitlán, en orden de mayor a menor concentración son los siguientes: Ca, Zn, Fe, Cu, Pb, Se, Sr, Mn, Cr, Ti, Ni, Co y V.

Los resultados muestran que no existe diferencia estadística significativa entre los valores de concentración entre puntos de muestreo y entre las dos especies, para un mismo metal; pero sí entre los diferentes metales detectados, lo cual se debe a una mayor o menor concentración de los metales en los contaminantes que recibe dicho lago y la poca o nula capacidad de metabolización de los mismos, y así su retención de dicho metal en el músculo de las especies Mojarra Negra y Guapote Tigre.

Los valores de concentración reportados para Cu, Fe, y Zn sobrepasan los límites establecidos que corresponden a valores de DDMA de 0.05 - 0.5, 0.8 y 0.3 - 1.0, respectivamente; igualmente para el caso del Pb el cual sobrepasa el Índice Semanal Tolerable (IST) de 0.05 comparado con un valor medio reportado de 0.602, siendo de hecho valores por arriba de los normales encontrados en tejidos y órganos de peces y otros animales, lo que hace que el consumo humano del músculo de las especies de peces analizadas sea peligroso y no recomendable.

Con respecto a valores reportados para Ca, Co, Mn, Ni, Sr, Se, y V, es poco lo que se sabe sobre la presencia de estos metales en la cadena alimenticia y además no son reportados valores máximos de concentración por la FAO/OMS, por lo que es recomendable realizar un estudio del efecto a la salud humana y animal, a dichos niveles de concentración determinados.

El valor medio reportado para el Fe es de 21.444 ppm, cuyo valor es un valor alto en relación al contenido normal en porciones de pescado, no es considerado dañino para la salud humana, ya que no altera el funcionamiento de los organismos vivos, y además no existe una DDMA.

El valor medio reportado para el Zn fue de 41.73 ppm, cuyo valor sobrepasa la DDMA por lo que no es recomendable el consumo humano de ambas especies analizadas, ya que este metal es considerado carcinógeno, además de ser peligroso para la ictiofauna, ya que éste interactúa con la mucosidad branquial, imposibilitando el intercambio gaseoso, ocasionando asfixia.

carcinogeno, además de ser peligroso para la ictiofauna, ya que éste interactúa con la mucosidad branquial, imposibilitando el intercambio gaseoso, ocasionando asfixia.

Se determinó también la presencia de Cromo, Cr, (total) en un valor medio de 0.041 ppm, lo cual indica la presencia del mismo en la cadena alimenticia y su presencia en su estado de oxidación VI el cual es de fácil penetración y alta solubilidad, además de tóxico.

Los resultados obtenidos son el producto de las prolongadas descargas industriales, municipales, fenómenos de mezcla, condiciones de anoxia y concentración de todo tipo de contaminantes y partículas que normalmente se encuentran en el sedimento que pasan a toda la columna de agua; así como también la acidificación del medio acuático y un perfil de óxido reducción anormal, no permite la precipitación al fondo de los iones metálicos, favoreciendo así la entrada de todos éstos metales a la cadena alimenticia.

Los resultados obtenidos eran de esperarse, luego de haberse determinado en este cuerpo de agua contaminación por metales pesados tanto en sedimentos (Manuel Basterrechea), como en lirios de agua (Nidia Alvarez), ya que el tipo de comportamiento de las especies estudiadas, en lo que respecta a su alimentación éstos consumen sedimentos, residuos vegetales, lodo y además, en el caso del guapote tigre, también consume pequeños crustaceos e insectos que viven en el mismo medio ambiente contaminado.

Los niveles de concentración determinados para los metales Co, Se, y Ti, a pesar de encontrarse en el rango de los límites de detección del equipo utilizado (hasta ppb), su presencia en muy pocas muestras (50% o menos, distribuido entre puntos de muestreo y especies), los hace estar sujetos a verificación en un número mayor de muestras, para tener la certeza de su presencia en el músculo de las especies de peces analizadas.

Es importante notar que no se determinó la presencia de Hg y As en el estudio realizado, posiblemente debido a que si éstos metales se encontraran en el músculo de los peces analizados sería por debajo de los límites de detección del equipo utilizado, de estar presentes el consumo de dichos peces representaría un mayor riesgo, por el alto grado de toxicidad y efectos críticos esperados.

## 9. CONCLUSIONES

1. Las especies de peces mojarra negra y guapote tigre analizadas se encuentran contaminadas con los siguientes metales Cu, Fe, Pb y Zn; ya que su concentración está por arriba de los límites recomendados por la FAO/OMS en el codex alimentarios.
2. Se determinaron valores de concentración en el músculo de las especies de peces analizadas, correspondientes a los siguientes metales Ca, Co, Mn, Ni, Sr, Se y V, para los cuales, por no contemplarse límites de concentración, es conveniente realizar un estudio del efecto a la salud humana y animal, a dichos niveles de concentración reportados.
3. Durante el período de muestreo, los niveles de concentración de metales pesados detectados en las dos especies de peces en estudio, no presentan diferencia estadísticamente significativa, tanto entre especies, puntos de muestreo y épocas del año que abarcó la recolecta de las muestras, pero sí entre los diferentes metales analizados.
4. El Guapote Tigre, en general presenta mayor acumulación de los siguientes metales Cu, Fe, Pb y Zn, que los reportados para la Mojarra Negra, debido posiblemente al tipo de comportamiento dentro de la cadena alimenticia, ya que éste se alimenta de sedimentos, residuos vegetales, lodo, y además es agresivo y carnívoro, consume así, pequeños crustaceos y pequeños insectos.
5. El músculo de las especies analizadas no presentan contaminación por Hg y As; de existir presencia de dichos metales, ésta se encuentra por abajo de los límites de detección del equipo utilizado.

## 10. RECOMENDACIONES

1. Las especies de peces mojarra negra y guapote tigre no se recomiendan para el consumo humano, ya que representan un riesgo para la salud, debido a la contaminación por metales pesados presentada en su músculo.
2. Realizar estudios similares en otras especies de peces que habiten en el lago de Amatitlán o en otros cuerpos de agua con posibles descargas de contaminantes y que representen una fuente de consumo humano y riesgo para la salud humana.
3. Velar por la aplicación y cumplimiento de la Ley de Mejoramiento Ambiental como medida inmediata, y velar por la aplicación de las sanciones contempladas en el recién aprobado Delito Ambiental, cuando así sea requerido.
4. Determinar las posibles contaminaciones puntuales en el cuerpo de agua estudiado y llevar a cabo las medidas correctivas necesarias.
5. Realizar programas de concientización y educación ambiental, como parte de un proyecto de rescate del lago de Amatitlán; contemplar a corto, mediano y largo plazo, construcción de plantas de tratamiento para aguas residuales, curvas de nivel y terrazas para evitar el lavado de los suelos, manejo racional de biocidas, presas de sedimentación, reforestación y saneamiento básico.
6. Llevar a cabo un estudio de la concentración de metales pesados, en las vísceras y branquias en las especies de peces analizadas, para poder determinar la selectividad de un elemento, hacia un órgano de los mismos y además tratar de determinar si existe una etapa en el crecimiento de los peces en la cual se encuentren más sensibles a la absorción de metales pesados.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Plesch, R.  
Comparison of different methods for the matrix correction in X-ray spectrometry  
Vol. 10 (1981). pp. 193 - 195

Arrivillaga Cortéz, Alejandro  
Situación de la pesca y acuicultura en lagos y embalses en Guatemala  
Escuela de Biología, USAC.  
III Semana Internacional de Limnología - México, 1991.  
pp. 1,5,6 y 7

Basterrechea Díaz, Manuel  
La contaminación en la cuenca del lago de Amatitlán, Guatemala  
Proyecto regional de manejo de cuencas  
Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza

Murgel Branco  
Limnología sanitaria, estudio de la polución de aguas continentales  
Monografía No. 28, pp. 33 a 36 y 54 - 55

Vladó, Valkovic  
Analysis of biological materials for trace elements using X-ray spectroscopy  
Florida.: CRC. Press. pp. 88 - 98

Ayala R., Mora E., Morales S., Aguilar E.  
Manual de procedimientos para el análisis multielemental por espectrometría de rayos X  
Guatemala, Dirección General de Energía Nuclear, 1991

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

Bacso J., Uzonyi I.  
The effect of methylmercury on small animals and the use of their hair as a reference material for Hg and methylmercury analytical quality control  
Vienna, International Atomic Energy Agency.  
Report on the First Research Coordination Meeting  
10 - 13 June 1991. pp. 59 - 67

Gras N., Thieck M., Muñoz L.

Seasonal and geographical variability in some trace two different bays of northern Chile.

Washington, DC. (United States) American Nuclear Society,  
Anon. Second International Conference on Methods and  
Applications for Radioanalytical Chemistry. Abstracts.  
1991. pp. 53

El Assaly F.M.

Radiation physical approach to trace elements evaluation in poisonous fish toxin

El Cairo, Egipto. National Centre for Radiation Research and  
Technology. Egyptian-Journal-of-Radiation-Sciences-and-  
Applications, 1985. V2(2). pp.191 - 199

Kamel L.N., Godoy J.M., Nicoli

Study of Cr, Fe and Co distribution in corvina and shrimp in piraquara de dentro region.

Rio de Janeiro. Instituto de radioprotecao e dosimetria.  
V.2, 1986. pp. 292 - 296.

Bayat I., Raufi N., Nejat M.

Determination of mercury and other toxic elements in fish and foodstuffs using destructive neutron activation analysis

International Atomic Energy Agency. Health Related  
Monitoring of Trace Elements Pollutants Using Nuclear  
Techniques. March, 1985. pp. 141 - 146

Suwirma S., Surtipanti S., Yatim Sofyan

Determination of Hg, Pb, Cd and Cr in ocean fishes restrelliger species

Majalah, Batan; 1981. pp. 2 - 8

Suwirma S., Surtipanti S., Thamsil

Distribution of heavy metals Hg, Pb, Cd, Cu and Zn in fish

Majalah, Batan; 1980. pp. 9 - 19

Battalha B., Parlatore A.C

Control de la calidad del agua para consumo humano

Sao Paulo, 1977. pp. 198



Alvarez, Nidia  
Investigación preliminar: Metales pesados en eichornia lirios, lago de Amatitlán  
Guatemala. Escuela de Biología, USAC. 1992.

COGUANOR  
Norma de la comisión guatemalteca NGO 29001 agua potable  
Guatemala. Especificaciones, junio de 1984

DOCUMENTA GEIGY. SCIENTIFIC TABLES  
Germany Edited B & K Diem and C. Lentner Published by J.R.  
Geigy, 1970. pp. 809

Alvarez, Nidia  
Análisis multielemental por reflexión total de rayos X, en tejido muscular de  
lobina micropterus salmoides y guapote ciclhasoma managuense, en la laguna  
de Chicoj San Cristobal Verapaz, Alta Verapaz.  
Guatemala. Informe final de Tesis, USAC, Facultad de CQ y Farmacia, Mayo 1995

P.J. Coughtrey / M.C. Thome  
Radionuclide distribution and transport in terrestrial and aquatic ecosystems a  
critical review of data.  
Balkema, Rotterdam. Volúmen 2, 1983

## 12. ANEXOS

### 12.1 Información biofísica, socioeconómica y demográfica del lago de Amatitlán y su cuenca:

Area de la cuenca ----- 368 km cuadrados

Elevacionese la cuenca ----- 1180 - 1600m SNM

Días de lluvia anual ----- 90 - 120 días

Lluvia promedio anual ----- 1214 mm

Evaporación promedio anual ----- 900 mm

Temperatura promedio anual ----- 20°C

Eología: roca sedimentaria que ocupa el 86% del área de la cuenca

Agricultura: café, caña de azúcar y maíz

Pecuario: ganado mayor, menor y aves de corral

Generación eléctrica: JURUN MARÍNALA de 61. 2 Mw. Termoeléctrica la Laguna, que usa el agua para enfriamiento de la planta de 30 Mw.

Agua Potable: la ciudad de Guatemala y su área de influencia aprovecha en promedio un caudal superficial y subterráneo de 1.15 metros cúbicos por segundo en la cuenca.

Disposición de desechos líquidos y salidos: en su mayoría, son vertidos sin tratamiento al ambiente, incluyendo los cauces de los ríos.

Población: 369,533 habitantes

Área del lago: 15. 3 Km. cuadrados

Profundidad media y máxima: 18 y 33 metros respectivamente.

## 12.2 NORMAS COGUANOR PARA AGUA POTABLE

ELEMENTO	SIMBOLO	LMA	LMP
Aluminio	Al	0,05	0,1
Bario	Ba	nd	1
Boro	B	nd	1
Calcio	Ca	75	200
Cinc	Zn	5	15
Cromo	Cr	nd	0,05
Cobre	Cu	0,05	1,5
Hierro	Fe	0,1	1
Magnesio	Mg	50	150
Manganeso	Mn	0,05	0,5
Mercurio	Hg	nd	0,002
Plomo	Pb	nd	0,1
Níquel	Ni	0,01	0,02

LMA Límite máximo aceptable en ppm  
 LMP Límite máximo permisible en ppm  
 ppm partes por millón  
 nd no determinado

ref. (16)

**12.3 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EICHORNIA C. LIRIOS DE AGUA  
LAGO DE AMATITLÁN (ppm)**

Metales	Raíz Jardín Bot.	Raíz Amat.	Peciolo Jardín Bot.	Peciolo Amat.	Hoja Jardín Bot.	Hoja Amat.
P						297
S		384		561		950
Cl			1510	8905		
K	15213	5718	39019	63874	12685	17729
Ca	10657	2697	8989	10058	4429	7366
Ti		29				
V		23				
Cr						
Mn	47	1045	137	916	49	341
Fe	875	889	384	500	196	427
Co						
Ni	36			21		
Cu	51	21	31	231	20	22
Zn	153	895	98	255	41	45
As		25				
Br	25		10	65	21	17
Rb			16	122		42
Sr	38	14	15	79	26	37
Hg						
Pb	16	10	106	110	37	28

Ref. (15)

Bot. : Botánico  
Amat. : Amatitlán

**12.4 DOSIS DE INGESTIÓN**  
(Según el Codex Alimentarios)

Elemento	Símbolo	Dosis	mg/kg peso corporal	provisional
Arsénico	As	DDMA	0,002	
Cadmio	Cd	DSPT	0,0067-0,0083	*
Cobre	Cu	DDMA	0,05-0,5	*
Hierro	Fe	DDMA	0,8	
Plomo	Pb	IST	0,05	*
Mercurio	Hg	IST	0,005	
Estaño	Sn	DDMA	20	*
Cinc	Zn	DDMA	0,3-1,0	*

ref. (17)

DDMA = dosis diaria máxima admisible  
 DSPT = dosis semanal provisional tolerable  
 IST = ingestión semanal tolerable

**12.5 CONTENIDO NORMAL DE ELEMENTOS EN PORCIONES COMESTIBLES DE PESCADO**  
**(mg/100 gr. - Según tablas de la Geigy)**

Nombre Común	Nombre Científico	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	P	S
Arenque	<i>Clupea harengus</i>	118	317	57	26	0,02	1,1	0,30	240	202
Caballa	<i>Homarus vulgaris</i>	144	358	5	33	0,02	1,0	0,16	239	197
Perca	<i>Sebastes marinus</i>	94	345	46	nd	nd	1,0	nd	212	nd
Lucio	<i>Erox lucius</i>	70	300	20	30	0,02	0,7	0,25	210	200
Salmón	<i>Salmo salar</i>	48	391	29	29	0,01	0,8	0,20	266	190
Sardina		510	560	354	nd	nd	3,5	0,04	434	nd
Trucha	<i>Salmo trutta</i>	39	470	19	nd	0,03	1,0	0,33	220	nd
Tuna	<i>Thunnus thunnus</i>	361	343	7	nd	nd	1,2	nd	294	nd
Bacalao	<i>Gadus callarias</i>	86	339	11	28	0,01	0,5	0,50	190	nd
Lenguado	<i>Pleurónectes flesnus</i>	68	332	12	31	0,02	0,8	0,18	195	nd
Mero	<i>Hippoglossu h.</i>	56	340	13	nd	0,01	0,7	0,23	211	nd

nd: no determinado

ref. (17)

## 12.6 RESULTADOS EXPERIMENTALES

Resultados experimentales en el análisis  
de metales pesados en músculo de pescado  
por reflexión total de rayos X.

TABLA 1

Ca (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	4902.00	2730.00	5709.00	3672.00	5597.00	1233.00
MUESTRA 2	2637.00	3444.00	2736.00	1674.00	4161.00	2064.00
MUESTRA 3	2262.00	2130.00	3273.00	1221.00	3840.00	2766.00
MOJARRA:						
MUESTRA 1	3120.00	5138.00	1860.00	4002.00	4176.00	3336.00
MUESTRA 2	4113.00	2223.00	3624.00	3288.00	3015.00	2784.00
MUESTRA 3	4581.00	3342.00	1203.00	3402.00	2133.00	3336.00

TABLA 2

Co (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	0.010	0.010	n.r.	0.020	n.r.	0.010
MUESTRA 2	0.010	0.010	n.r.	0.020	n.r.	n.r.
MUESTRA 3	0.010	0.010	n.r.	0.020	n.r.	0.020
MOJARRA:						
MUESTRA 1	0.010	n.r.	0.010	0.010	n.r.	0.020
MUESTRA 2	0.010	n.r.	0.020	n.r.	0.010	0.020
MUESTRA 3	0.010	n.r.	0.010	n.r.	n.r.	n.r.

TABLA 3

Cr (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	n.r.	0.010	0.010	0.060	0.020	0.100
MUESTRA 2	0.020	n.r.	0.010	0.080	n.r.	0.050
MUESTRA 3	0.020	0.020	0.010	0.020	n.r.	0.100
MOJARRA:						
MUESTRA 1	0.040	0.020	0.020	0.030	0.020	0.100
MUESTRA 2	0.060	0.030	n.r.	0.020	n.r.	0.020
MUESTRA 3	0.020	n.r.	0.040	0.090	0.080	0.080

**Resultados experimentales en el análisis  
de metales pesados en músculo de pescado  
por reflexión total de rayos X.**

TABLA 4

Cu (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	2.000	2.000	2.000	4.000	6.000	6.000
MUESTRA 2	4.000	2.000	5.000	2.000	2.000	2.000
MUESTRA 3	2.000	1.000	2.000	4.000	1.000	4.000
MOJARRA:						
MUESTRA 1	2.000	1.000	3.000	2.000	1.000	2.000
MUESTRA 2	2.000	3.000	2.000	2.000	2.000	7.000
MUESTRA 3	1.000	2.000	2.000	2.000	4.000	2.000

TABLA 5

Fe (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	20.000	24.000	8.000	28.000	28.000	18.000
MUESTRA 2	14.000	26.000	32.000	24.000	24.000	8.000
MUESTRA 3	18.000	24.000	16.000	22.000	34.000	18.000
MOJARRA:						
MUESTRA 1	30.000	26.000	20.000	16.000	48.000	24.000
MUESTRA 2	36.000	32.000	14.000	16.000	14.000	14.000
MUESTRA 3	20.000	16.000	10.000	18.000	10.000	8.000

TABLA 6

Mn (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	0.150	0.080	0.090	0.090	0.080	0.060
MUESTRA 2	0.130	n.r.	n.r.	0.130	n.r.	0.070
MUESTRA 3	0.100	0.090	0.070	0.100	0.090	0.090
MOJARRA:						
MUESTRA 1	0.120	0.070	n.r.	0.100	n.r.	0.090
MUESTRA 2	0.070	n.r.	0.080	0.090	n.r.	n.r.
MUESTRA 3	0.070	0.070	n.r.	0.070	0.080	0.070



**Resultados experimentales en el análisis  
de metales pesados en músculo de pescado  
por reflexión total de rayos X.**

TABLA 7

Ni (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
<b>GUAPOTE:</b>						
MUESTRA 1	0.020	0.030	0.010	0.010	0.070	0.040
MUESTRA 2	0.010	0.010	0.080	0.020	0.010	0.080
MUESTRA 3	0.020	0.060	0.020	0.010	0.010	0.030
<b>MOJARRA:</b>						
MUESTRA 1	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.050
MUESTRA 2	0.020	0.030	0.020	0.060	0.050	0.040
MUESTRA 3	0.010	0.010	0.080	0.020	0.010	0.090

TABLA 8

Pb (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
<b>GUAPOTE:</b>						
MUESTRA 1	0.500	0.200	0.600	0.800	0.500	0.750
MUESTRA 2	1.000	0.500	0.500	0.500	0.650	0.900
MUESTRA 3	0.800	1.000	0.500	0.500	0.500	n.r.
<b>MOJARRA:</b>						
MUESTRA 1	0.400	0.500	0.700	0.850	0.500	n.r.
MUESTRA 2	0.250	0.750	0.450	0.700	0.450	n.r.
MUESTRA 3	0.350	0.450	0.600	0.700	0.350	0.850

TABLA 9

Se (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
<b>GUAPOTE:</b>						
MUESTRA 1	0.200	0.500	0.090	0.500	0.400	0.100
MUESTRA 2	0.500	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	0.500
MUESTRA 3	0.500	n.r.	0.090	0.500	n.r.	0.300
<b>MOJARRA:</b>						
MUESTRA 1	n.r.	n.r.	0.090	n.r.	n.r.	n.r.
MUESTRA 2	n.r.	0.500	n.r.	n.r.	n.r.	0.100
MUESTRA 3	n.r.	n.r.	n.r.	0.500	0.400	0.400

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

**Resultados experimentales en el análisis  
de metales pesados en músculo de pescado  
por reflexión total de rayos X.**

TABLA 10

Sr (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	0.150	0.150	0.150	0.200	0.250	0.500
MUESTRA 2	0.100	0.150	0.100	0.100	0.250	0.100
MUESTRA 3	0.100	0.180	0.100	0.100	0.200	0.100
MOJARRA:						
MUESTRA 1	0.150	0.100	2.000	0.300	0.100	0.100
MUESTRA 2	0.300	0.100	0.100	0.100	0.090	0.100
MUESTRA 3	0.300	0.100	0.080	0.200	0.100	0.100

TABLA 11

Ti (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	0.010	n.r.	0.020	0.040	n.r.	0.010
MUESTRA 2	n.r.	0.010	0.010	n.r.	0.020	0.060
MUESTRA 3	0.030	0.010	n.r.	0.010	0.040	0.020
MOJARRA:						
MUESTRA 1	0.020	0.010	0.030	0.050	0.010	0.020
MUESTRA 2	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	0.010	n.r.
MUESTRA 3	0.010	0.020	0.010	0.020	0.010	0.010

TABLA 12

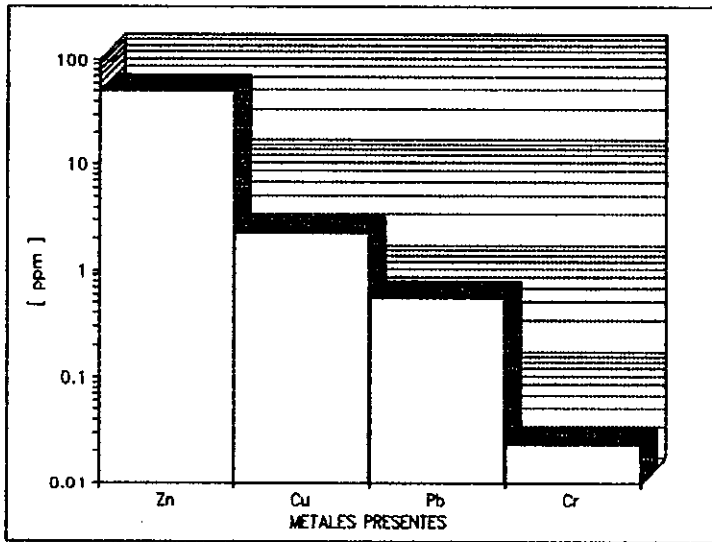
V (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	0.030	0.030	0.020	0.040	0.030	0.003
MUESTRA 2	0.030	n.r.	n.r.	0.010	0.060	0.003
MUESTRA 3	n.r.	0.010	0.010	0.010	0.030	0.002
MOJARRA:						
MUESTRA 1	0.030	0.010	0.030	0.030	0.040	0.001
MUESTRA 2	0.030	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
MUESTRA 3	0.020	0.010	0.030	0.010	0.080	n.r.

TABLA 13

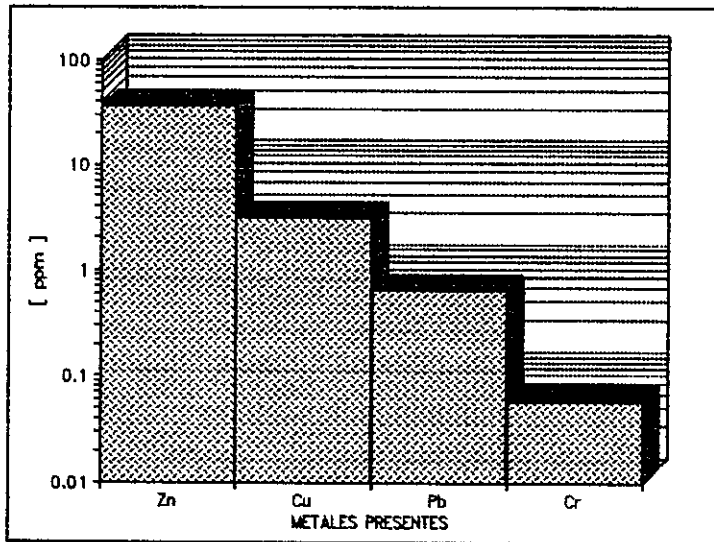
Zn (ppm)						
ESPECIE	PUNTO 1			PUNTO 2		
	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO	JULIO	OCTUBRE	FEBRERO
GUAPOTE:						
MUESTRA 1	55.000	50.000	30.000	52.500	55.000	25.000
MUESTRA 2	55.000	45.000	44.000	40.000	45.000	72.500
MUESTRA 3	52.500	70.000	62.500	47.250	67.500	23.000
MOJARRA:						
MUESTRA 1	57.500	45.000	33.000	30.000	32.000	22.000
MUESTRA 2	25.000	50.000	35.000	25.000	20.500	35.000
MUESTRA 3	32.480	22.500	23.000	30.000	5.000	30.000

## 12.7 GRÁFICAS DE PARETO

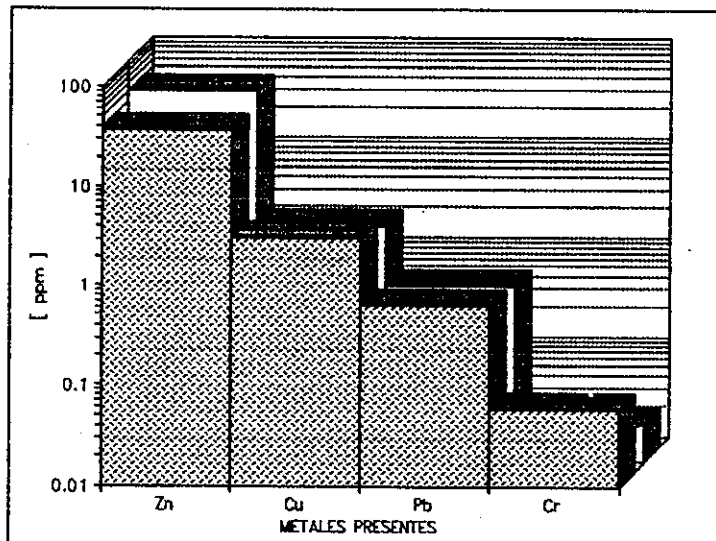
Distribución de Pareto para los puntos de muestreo en el análisis de metales con límites de concentración por la FAO/OMS en músculo de peces por reflexión total de rayos x.



**Gráfica No.1  
PUNTO 1**

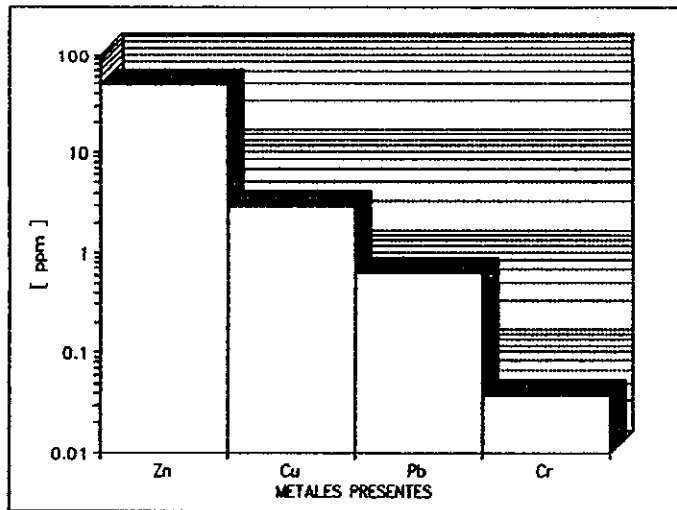


**Gráfica No.2  
PUNTO 2**

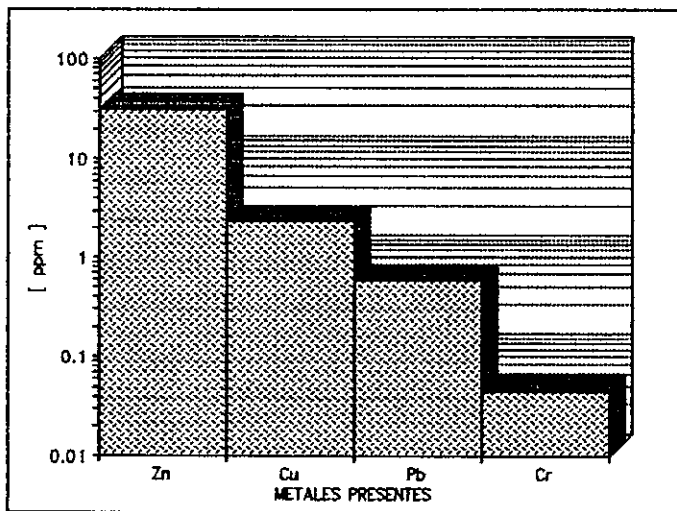


**Gráfica No.3  
PUNTO 1 y 2**

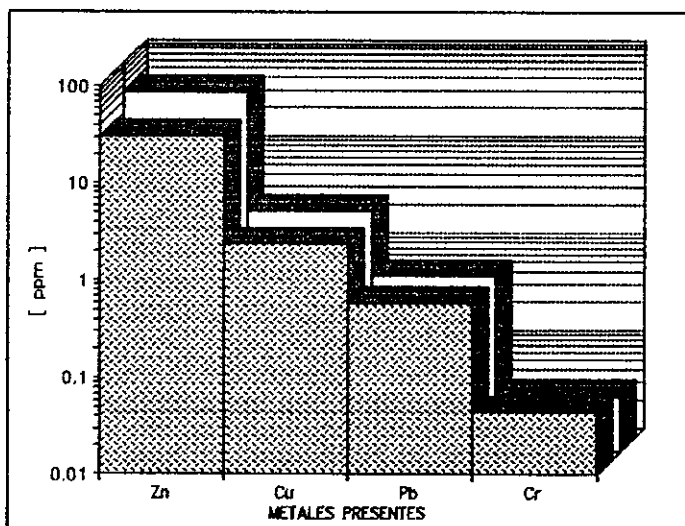
**Distribución de Pareto para las especies estudiadas en el análisis de metales con límites de concentración por la FAO/OMS en músculo de peces por reflexión total de rayos x.**



**Gráfica No.4  
GUAPOTE TIGRE**

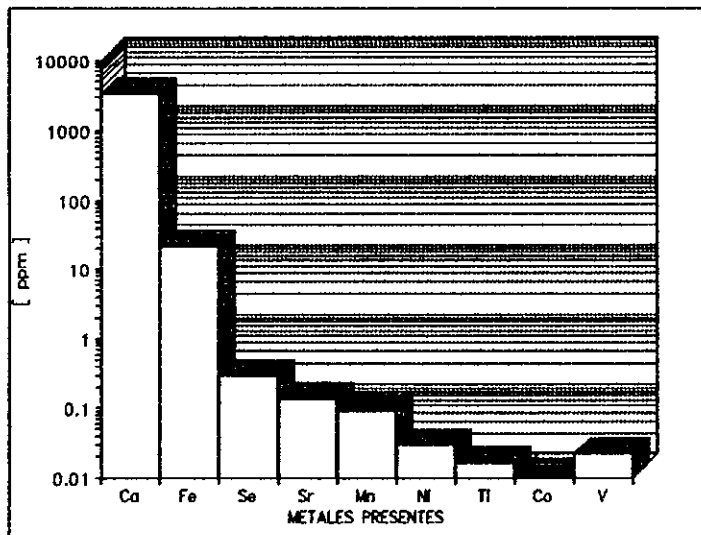


**Gráfica No.5  
MOJARRA NEGRA**

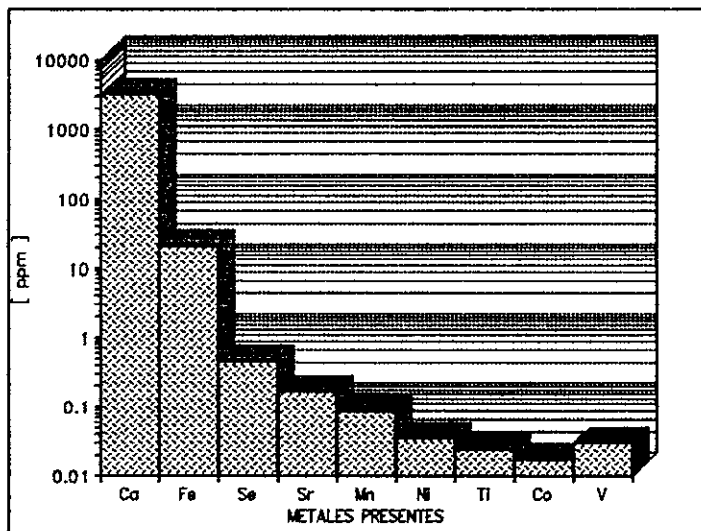


**Gráfica No.6  
GUAPOTE TIGRE  
Y MOJARRA NEGRA**

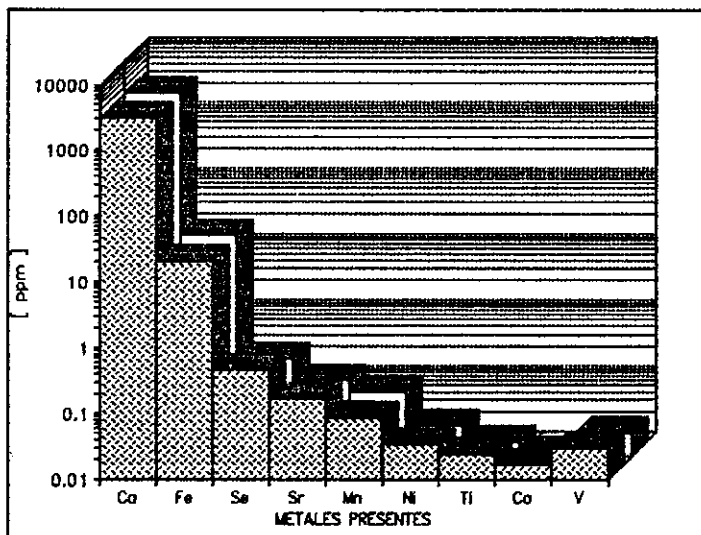
Distribución de Pareto para los puntos de muestreo en el análisis de metales sin límites de concentración por la FAO/OMS en músculo de peces por reflexión total de rayos x.



Gráfica No.7  
PUNTO 1

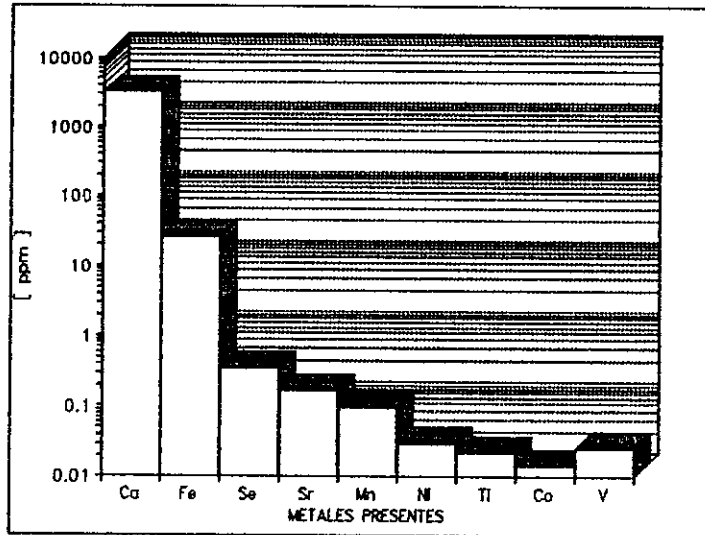


Gráfica No.8  
PUNTO 2

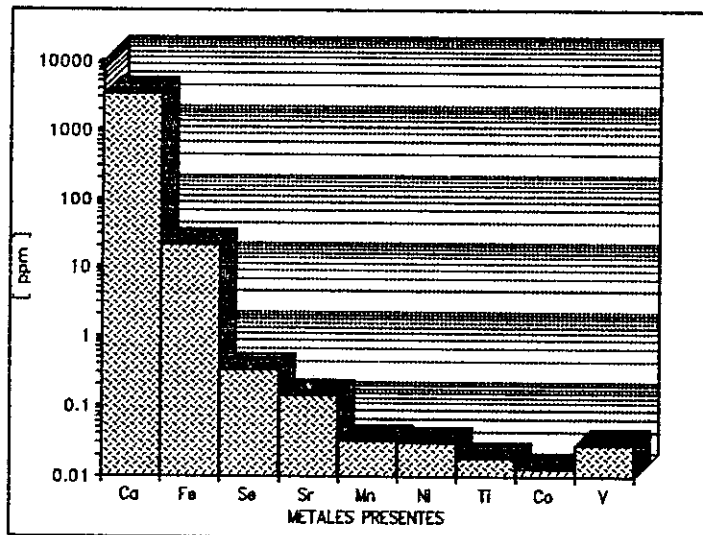


Gráfica No.9  
PUNTO 1 y 2

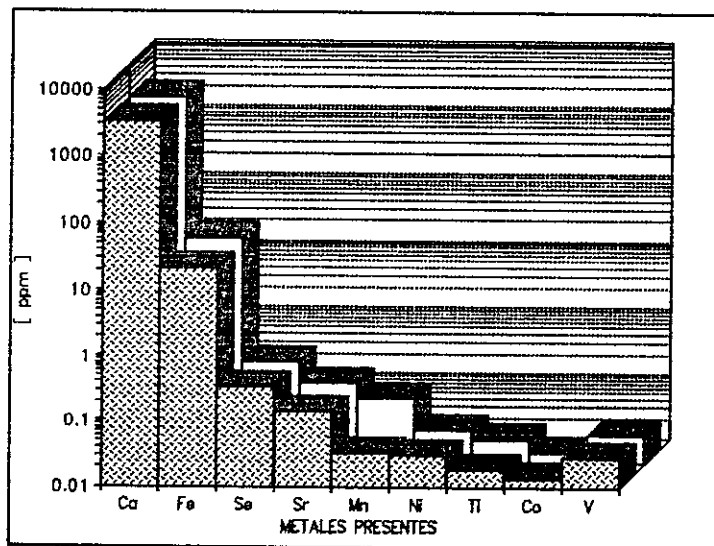
**Distribución de Pareto para las especies de muestreo en el análisis de metales sin límites de concentración por la FAO/OMS en músculo de peces por reflexión total de rayos x.**



**Gráfica No.10  
GUAPOTE TIGRE**



**Gráfica No.11  
MOJARRA NEGRA**



**Gráfica No.12  
GUAPOTE TIGRE  
Y MOJARRA NEGRA**

# 12.8 Lago de Amatitlán

## Puntos de Muestreo

