



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

METALES PESADOS EN *Tilapia nilotica* L. Y SU AMBIENTE EN LA
PRESA VICENTE AGUIRRE EN ZOZEA ALFAJAYUCÁN ESTADO
DE HIDALGO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

P R E S E N T A:
MARÍA DEL ROCÍO RODRÍGUEZ GONZÁLEZ

Director de tesis

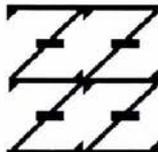
M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ

Asesor de tesis

M. en C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA

MÉXICO, D.F. SEPTIEMBRE 2004.

U N A M
FES
ZARAGOZA



LO HUMANO EJE
DE NUESTRA REFLEXIÓN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

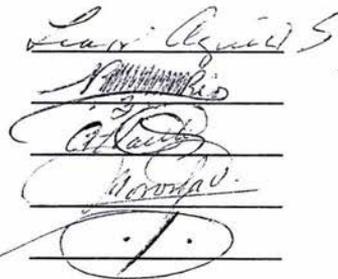
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que la alumna RODRÍGUEZ GONZÁLEZ MARÍA DEL ROCÍO,
con número de cuenta 7913108-5 de la carrera de Q. F. B.
se le ha fijado el día 08 del mes de Septiembre de 2004 a las 11:00 hrs.,
para presentar examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes
profesionales Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	Q.F.I. LEONOR AGUILAR SANTELISES
VOCAL.	M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ
SECRETARIO	M. en C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA
SUPLENTE	Q. MA. GUADALUPE CORONA VARGAS
SUPLENTE	BIOL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA



El título de la tesis que se presenta es **Metales pesados en Tilapia nilotica**
L. y su ambiente en la presa Vicente Aguirre en Zozea Alfajayucán Estado de Hidalgo.

Opción de titulación: **Tesis Experimental**

ATENTAMENTE.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
México, D.F. a 25 de Junio de 2004.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "ZARAGOZA"
MTRO. JUAN FRANCISCO SÁNCHEZ RUIZ
DIRECTOR DE DIRECCIÓN

RECIBÍ:

OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Vo.Bo.

Q.F.B. ROBERTO CRUZ GONZÁLEZ MELÉNDEZ
JEFE DE LA CARRERA DE Q.F.B.

AGRADECIMIENTOS

A MIS HIJOS, KYUSU Y AMAURY, QUE CON SU GRAN AMOR Y COMPRENSIÓN ME MOTIVARON A SUPERAR TODOS LOS OBSTÁCULOS PARA LLEGAR A UNA DE MIS METAS MÁS ANHELADAS.

A MI MADRE, POR SU GRAN APOYO QUE HA SIDO SIEMPRE UN GRAN ALICIENTE EN TODOS LOS LOGROS DE MI VIDA.

A MI PADRE, PUES CON SU INSUPERABLE EJEMPLO Y APOYO MORAL HA SIDO SIEMPRE UNA INSPIRACIÓN ESENCIAL PARA CONDUCIRME POR EL CAMINO DEL BIEN Y TERMINAR UNA ETAPA MÁS DE MI VIDA.

GRACIAS A TÍ, POR TU APOYO PARA QUE SE ME CUMPLIERA UNO DE MIS MÁS GRANDES DECEOS.

CON TODO AGRADECIMIENTO A TODOS LOS MIEMBROS DEL JURADO, M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ, M en C. A. LOURDES CASTILLO GRANADA, BIÓL. MARICELA ARTEAGA MEJÍA, M en C. LEONOR AGUILAR SANTELISES, Q. MA. GUADALUPE CORONA VARGAS, POR SUS VALIOSOS COMENTARIOS QUE ENRIQUECIERON MÁS EL CONTENIDO DE ESTA TESIS.

CON TODO RESPETO AL M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL, POR SU ASESORAMIENTO EN LA ETAPA ESTADÍSTICA, QUE EN TODO MOMENTO ESTUVO DISPUESTO AYUDARME PARA TERMINAR ESTE TRABAJO.

CON TODO CARIÑO POR SU GRAN AMISTAD Y AYUDA INCONDICIONAL, ANGELES Y LOURDES.

Í N D I C E

	Pág.
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA	4
3.1. Historia de la piscicultura en México.	4
3.1.1. Importancia de la piscicultura dentro de la pesca nacional.	5
3.1.2. Pescado.	6
3.1.2.1. Clasificación de los grupos nutricionales.	6
3.1.2.2. Valor nutritivo del pescado.	7
3.1.2.3. Composición de la carne de pescado.	12
3.1.2.4. Contenido de agua.	13
3.1.2.5. Contenido de proteína.	13
3.1.2.6. Contenido de grasa.	14
3.2. Antecedentes de la Tilapia.	14
3.2.1. <i>Tilapia nilotica</i> (Linneus).	14
3.2.1.1. Temperatura.	16
3.2.1.2. Oxígeno disuelto.	17
3.2.1.3. pH.	17
3.2.1.4. Conductividad eléctrica.	17
3.3. Aguas residuales.	18
3.4. Metales pesados.	20
3.4.1. Cobre.	21
3.4.2. Níquel.	23
3.4.3. Zinc.	25
3.4.4. Cadmio.	28
3.4.5. Plomo.	30
3. 5. Efecto de los metales pesados en peces.	33
3.5.1. Efecto de los metales pesados a nivel celular.	34
3.5.2. Toxicidad de los metales pesados en peces.	35
3.5. 2.1. Toxicidad de Cobre.	36

3.5.2.2.	Toxicidad de Níquel.	36
3.5.2.3.	Toxicidad de Zinc.	36
3.5.2.4.	Toxicidad de Cadmio.	37
3.5.2.5.	Toxicidad de Plomo.	37
3.6.	Espectroscopía de absorción atómica con llama.	41
3.7.	Descripción del área de estudio.	42
3.7.1.	Medio histórico.	42
3.7.2.	Medio físico.	42
3.7.3.	Antecedentes socioeconómicos.	43
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	45
5.	OBJETIVOS.	46
5.1.	Objetivo general.	46
5.2.	Objetivo específico.	46
6.	HIPÓTESIS.	47
7.	MATERIAL Y EQUIPO.	48
7.1.	Material y equipo.	48
7.2.	Instrumentos y equipo.	48
7.3.	Reactivos.	49
8.	METODOLOGÍA.	49
8.1.	Toma de muestras.	49
8.1.1.	Muestras de agua.	51
8.1.2.	Muestras de organismos.	51
8.2.	Análisis de las muestras de agua.	51
8.3.	Metales pesados en agua.	52
8.4.	Metales pesados en peces.	52
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	55
9.1.	Características del agua.	55
9.2.	Elementos metálicos en las muestras de agua.	56
9.3.	Elementos metálicos en peces.	61
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	67
11.	CONCLUSIONES.	74
12.	SUGERENCIAS.	75
13.	BIBLIOGRAFÍA.	76

1. RESUMEN

En la ciudad de México, se generan grandes cantidades de aguas residuales, mismas que son utilizadas en el Valle del Mezquital con fines agrícolas, pecuarias y algunas actividades acuícolas. La composición es muy heterogénea y entre los contaminantes que presentan, destaca la presencia de metales pesados. En el Valle del Mezquital se han construido vasos de regulación (presas), una de ellas es la presa Vicente Aguirre en Zozea Alfajayucán Edo. de Hidalgo, en donde el agua residual se almacena para su aprovechamiento en la producción agrícola y como un uso alternativo en la presa se siembra anualmente especies acuáticas como: Carpa barrigona (*Cyprinus carpio rubrofuscus*), herbívora (*Ctenopharyngodon idella*), plateada (*Hypophthalmichys molitrix*) y mojarra Tilapia (*Tilapia nilotica*).

En la presente investigación se realizó un muestreo de agua en 10 puntos a lo largo y ancho de la presa tomando muestras por duplicado, al mismo tiempo se colectaron 30 organismos de talla comercial de la especie *Tilapia nilotica* con un peso que varió de 215.60 a 430.00 g.

Tanto los organismos como el agua fueron transportados al laboratorio en refrigeración para su análisis. Los órganos branquias, vísceras y tejido muscular fueron separados y secados, posteriormente el tejido se molió y se procedió a realizar una digestión ácida para su posterior análisis por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Se evaluaron los niveles de concentración de los elementos contaminantes Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en agua y órganos estudiados.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye: que los elementos analizados mostraron niveles normales en las muestras de agua tomadas en la presa, en los órganos de los peces, estos mismos elementos se encontraron en concentraciones significativamente más altas de acuerdo a la NOM-129-SSA1-1995 y a los valores descritos por Kapauan, *et al.*, (1979) citado por Andaya y Gotopeng (1982).

Es importante hacer notar que para Ni en peces, no se cuenta con suficiente información de concentración de metales pesados ni datos de comparación.

2. INTRODUCCIÓN

La industrialización de la cuenca de México durante las décadas de los 50 y 60' trajo como consecuencia una explosión demográfica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) que provocó una mayor demanda de servicios públicos, particularmente el agua tuvo que traerse de fuentes externas. Antes de la aparición de las industrias, el agua residual era exclusivamente doméstica, pero en la actualidad las aguas llevan desechos industriales, lo cual representa un peligro para la salud pública (Maples, 1990).

Es por ello que en los últimos años el problema de la contaminación ambiental ha sido motivo de gran preocupación en nuestro país; tanto el desarrollo tecnológico como el crecimiento demográfico han contribuido de manera importante (Maca y Silverio, 1997).

Con la aportación continua de cantidades crecientes de un gran número de sustancias químicas, sintéticas y naturales, se han degradado los recursos naturales. Una de las formas en que son liberadas éstas y distribuidas al ambiente es a través de las aguas residuales, provenientes de usos municipales, públicos o domésticos, industriales y agropecuarios que se descargan en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos reguladores y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltran en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2004).

Debido a la escasez de agua de mejor calidad se ha generado la práctica común y extensiva de regar zonas agrícolas con agua residual (Colli, 1990).

En diversos países a través del tiempo, esto ha causado la contaminación del suelo, disminución en los rendimientos en los cultivos y daños a la salud de los seres humanos y animales que consumen los productos agrícolas, originando además contaminación de los cuerpos acuáticos, acuíferos y aguas subterránea (García, *et al.*, 1989).

Por lo antes mencionado, es de particular interés conocer la forma en que éstos contaminantes se incorporaran al ambiente y como afectan la salud en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y bienestar del hombre, a través de los alimentos (Gómez, 1995).

Dentro de los alimentos del ser humano se encuentra el pescado como aportación de proteínas y grasas.

Es indudable que una alimentación nutritiva es fundamental para lograr no sólo generaciones más aptas y vigorosas sino también ciudades que sepan cuidar y

proteger nuestros recursos y medio ambiente que nos rodea (Secretaría de Pesca, 1986).

Por tal motivo es de importancia conocer el contenido de metales pesados en el pescado (*Tilapia nilotica*) y a la vez detectar si el consumo de los elementos contaminantes presentes ocasiona problemas de toxicidad al exceder los niveles de tolerancia en el organismo.

En éste estudio se hace la evaluación de los niveles de concentración de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en agua y en tres diferentes órganos de *Tilapia nilotica* colectadas en la presa, Vicente Aguirre en Zozea Alfajayucán Edo. de Hidalgo.

La cuantificación de los metales pesados se hizo empleando la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con llama.

3. FUNDAMENTACIÓN DEL TEMA.

3.1 Historia de la Piscicultura en México.

En México, como en muchos de los países del mundo, la Piscicultura se inició con la explotación de las poblaciones silvestres de peces en lagos y ríos. Antes de la conquista, nuestros indígenas explotaron e intentaron cultivar peces, como lo demuestra los estanques piscícolas construidos por los zapotecas, los cuales causaron la admiración de los españoles en tiempos de la Colonia (Rosas, 1988).

Además, en ésta época algunos códices registran diversos tipos de manejos acuaculturales, como el cultivo en chinampas, desarrollo de técnicas en cultivo de peces y vegetales como el alga espirulina de elevado valor proteico; de la misma época y en el Valle de Toluca, en la región de Tianguistengo y en las lagunas temporales de Ixtlahuaca, Laguna Zumpango y otras; la historia menciona la explotación programada de charal, pescado blanco y otras especies nativas. Los ríos y lagos albergaban una fauna tan variada como abundante y fácil de capturar.

Al ser interrumpida la producción pesquera en la época de la Colonia, el pueblo mexicano perdió la costumbre de cultivar especies de agua dulce, pues el pescado llegó a ser un artículo de lujo; esta situación continuó invariable, hasta antes de la revolución de Independencia y después de ella (Bojalil y Hernández, 1982).

Algo que contribuyó al desarrollo de la producción pesquera, fue que a los religiosos se les prohibía comer carne roja durante gran parte del año, y el pescado, además de alcanzar precios muy elevados, era de fácil descomposición. Más tarde los monjes se dieron cuenta que, además de los ejemplares introducidos en los estanques, se encontraban allí abundantes crías, lo que les dio la idea de emprender el cultivo piscícola, por lo que tuvieron necesidad de fomentar la Piscicultura en estanque anexos a los monasterios, alcanzando cierto auge (Rosas, 1988).

El año de 1833 puede considerarse como la fecha en que empieza la piscicultura organizada en nuestro país, en el Estado de México se hace el primer intento de producir peces en estanquerías y a principios de 1844 en Timilpan se construye la primera estación piscícola, con el fin de resolver en parte el problema del alto costo de las subsistencias y la escasez de proteínas animales (Bojalil y Hernández, 1982).

En los años veinte se formuló la primera Ley Federal de Pesca y en 1936 fue instalada la segunda estación piscícola llamada Almoloya del Río, ésta produjo Trucha Arcoiris (*Salmo gairdneri*). En 1965, se establecieron los estanques

piscícolas de Tenancingo. El 1968 se estableció la primera granja Trutícola de San Pedro Atlapulco, Municipio de Ocoyoacac y la granja acuícola de Malinalco en el Municipio del mismo nombre. En Enero de 1977 por decreto presidencial se crea el Departamento de Pesca.

El 4 de Enero de 1982, se publica en el Diario Oficial de la Federación el decreto por medio del cual se convierte el Departamento de Pesca, siendo éste un reconocimiento a la importancia de la actividad pesquera otorgándosele la mayor jerarquía dentro de la administración Pública (Bojalil y Hernández, 1982).

3.1.1 Importancia de la Piscicultura dentro de la Pesca Nacional.

La piscicultura, considerada como la actividad humana destinada a criar, alimentar, reproducir y cosechar intensiva y extensivamente peces de agua dulce, para fines de autoconsumo, comerciales, deportivos y ornamentales, puede considerarse tan antigua como las civilizaciones (Bojalil y Hernández, 1982).

La pesca es una actividad cuyo desarrollo sistemático se intensificó en el régimen de 1977-1982, su objetivo primordial es maximizar su contribución a la autosuficiencia alimentaria del país, entendida ésta con su doble connotación: Asegurar la autodeterminación del país en relación con el abastecimiento de alimentos básicos y asegurar un nivel nutricional para el conjunto de la población, en especial de menores recursos y con mayor énfasis en los sectores productores de alimento, los cuales paradójicamente se cuentan entre los que presentan graves carencias nutricionales.

Actualmente puede considerarse que si tan sólo la décima parte de los 2.8 millones de hectáreas de cuerpos de agua que existen en México, divididos en 1.5 millones en aguas salobres y 1.3 millones en aguas dulces, se aprovecharan íntegramente, permitirían obtener 700 toneladas de especies diversas.

El uso de presas, canales, bordos, embalses y todos los cuerpos de agua en general, pueden generar de forma inmediata alimentos de consumo popular y de alto valor comercial.

La importancia de este tipo de acciones ésta dada por su enorme potencial a mediano plazo para complementar la dieta y fortalecer la economía campesina a través de sistemas integrados de agro piscicultura.

La piscicultura ha avanzado gradualmente pasando de la explotación de poblaciones silvestres de nuestros embalses al cultivo intensivo, el monocultivo

extensivo en grandes embalses, lagos y bordos; monocultivo en estanques y corrales; policultivo extensivo en grandes embalses y policultivo intensivo en estanques, corrales y jaulas (Bojalil y Hernández, 1982).

La producción piscícola natural en aguas dulces, es de aproximadamente 50 Kg de pescado por hectárea en un año en algunas partes del país, por ejemplo en el sureste una hectárea de agua puede producir hasta 75 kg en un año; por el contrario en otras aguas más pobres la producción baja a 20 kg anuales; cabe aclarar que estas aguas tienen una producción pesquera acorde a su capacidad de producción de alimento natural (Rosas, 1988).

Dentro de la Industria Alimentaria, los productos pesqueros aunque vivimos en un país con 10,000 kilómetros de litorales y buena calidad de aguas interiores no participan en el nivel que debería corresponderles, siendo el consumo anual per cápita de productos pesqueros en el país de 7.23 kg mientras que el promedio mundial es cercano a los 12 kg. Cabe señalar que los productos piscícolas son incorporados dentro del renglón de otros dentro de las estadísticas de la producción pesquera y dentro de la Industria Alimenticia son prácticamente desconocidos y su participación insignificante (Bojalil y Hernández, 1982).

3.1.2 Pescado.

Los peces son animales de sangre fría, caracterizados por poseer vértebras, branquias y aletas, dependen primordialmente del agua, que es el medio en donde viven (Lagler, *et al.*, 1990).

Es por ello que el pescado y los mariscos ofrecen una gran variedad de sabores, texturas y colores, estos productos de agua dulce y marina los podemos consumir en su estado natural o conservados.

La composición nutricional del pescado (Cuadro No. 2), cualquiera que sea la especie, hace de él un alimento sumamente valioso, entendiendo a la nutrición, como la ciencia que estudia los alimentos que se consumen con la finalidad de conservar la salud humana (Secretaría de Pesca, 1986).

3.1.2.1 Clasificación de los Grupos Nutricionales.

Los alimentos que ingerimos diariamente proporcionan al organismo sustancias que le permiten responder a sus necesidades nutritivas. Por esta razón los alimentos se han clasificado en seis grupos, dadas sus principales características y su interés nutritivo. Esta clasificación comprende 5 grandes grupos de alimentos y un grupo está constituido por las bebidas.

- **PRIMER GRUPO.** Es primordial y comprende a las carnes, pescados y huevos: fuente de proteína, mineral, vitamina y vitaminas del grupo B.
- **SEGUNDO GRUPO.** Es protector e incluye: leche y los productos lácteos: fuente de proteínas, calcio, fósforo y vitaminas del grupo B.
- **TERCER GRUPO.** Es energético e involucra a las grasas animales y vegetales; la mantequilla, rica en vitamina A, aceites vegetales: fuente de ácidos grasos esenciales.
- **CUARTO GRUPO.** Es comestible y engloba: féculas, fuente de glúcidos y vitaminas del grupo A , azúcar y productos azucarados: fuente de glúcidos.
- **QUINTO GRUPO.** Es refrescante, en él se incluye a: verdura y frutas: fuente de minerales, vitaminas A, B y C, celulosa.
- **EL SEXTO GRUPO.** Satisface la necesidad de ingerir agua. Las bebidas, el agua, los zumos de fruta, bebidas aromáticas o alcoholes: de interés variable según su composición.

Saber utilizar los alimentos en proporción conveniente es el secreto del buen equilibrio alimenticio y el mejor medio de proporcionar al organismo los nutrientes indispensables para el buen funcionamiento (Ludorff y Meyer, 1978).

Es importante enfatizar que el pescado es también un alimento excelente para los niños. Estudios realizados mostraron que el consumo de pescado y marisco una o dos veces por semana, coadyuva a conservar una buena salud y por lo tanto procura una vida más larga (Secretaría de Pesca, 1986).

La descripción anatómica de la carne muscular se compone de tres segmentos (miotomos), separados por mioseptos y miocommatas, que son cubiertas de tejido conjuntivo. Esta fracción sólo constituye en el pescado un 2%, frente al 13-15% que supone en los mamíferos. Sólo en los peces cartilaginosos es superior esta fracción, llegando hasta el 11%. La baja proporción de tejido conjuntivo es uno de los motivos de la blandura y fácil digestibilidad de la carne de pescado (Ludorff y Meyer, 1978).

3.1.2.2 Valor Nutritivo del Pescado.

Junto con la carne y la leche, el pescado es nuestro principal abastecedor de proteínas de alto valor biológico, la carne de pescado contiene de un 17 a 20 % (en casos excepcionales hasta 22%). La proteína ingerida con la dieta es utilizada por nuestro organismo como indispensable en la síntesis de diferentes biomoléculas, también como sustancia destinada a la producción de calor y

energía. Las necesidades proteicas diarias del hombre son considerables, pudiendo cifrarse en 1 g por kilo de peso corporal. No todas las proteínas ingeridas con la dieta son capaces de formar o reponer la proteína corporal. Para este fin, sólo sirve la proteína de alto valor biológico, es decir, una proteína que contenga todos los aminoácidos esenciales (treonina, valina, leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, triptófano, histidina y arginina), además en la proporción adecuada. Nuestra dieta comprende especialmente tres grupos de alimentos ricos en proteína de alto valor biológico, por lo que resultan alimentos fundamentales: leche, huevo y carne, esta última tanto de animales de sangre caliente como de pescado. La proteína del pescado es de fácil digestión y proporciona, junto con todos los aminoácidos esenciales, elevadas cuantías de lisina, tan importante para el crecimiento de los jóvenes, así como de triptófano, aminoácido de gran importancia para la formación de la sangre.

De un estudio efectuado se deduce que las necesidades diarias del hombre en aminoácidos esenciales se cubren con una comida de 200 g de carne de pescado. La coincidencia de los tres factores que son una fácil digestibilidad, un repertorio óptimo de aminoácidos desde el punto de vista nutricional, y el abundante contenido de vitaminas y sales, convierte al pescado en un alimento de elevado valor, particularmente indicado para proporcionar a nuestro cuerpo, de forma accesible, todos los aminoácidos necesarios e imposibles de sintetizar por el propio organismo.

En todos los peces grasos viene a añadirse al contenido de proteína de alto valor biológico, el del aceite de pescado. El aceite de pescado es rico en las vitaminas liposolubles A y D. El aceite de hígado de pescado es más rico en vitaminas que el resto del cuerpo. Por ejemplo, el aceite de hígado de bacalao, se utiliza con fines preventivos y terapéuticos en virtud de su elevado contenido de estas vitaminas. Debido a la especial composición del aceite de pescado, además de la elevada tasa de vitaminas A y D, la fracción grasa de un pescado coadyuva notablemente a elevar su valor como alimento.

Además de proteína y grasa, el pescado proporciona, abundante cantidad de calcio, ácido fosfórico, elementos vestigiales, colessterina y lecitina.

Datos reportados indican que con una comida de 200 g de filete de pescado o de 300 g de pescado con espina, pueden cubrir aproximadamente los siguientes porcentajes de las necesidades diarias de nutrientes:

**CUADRO No. 1 SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES DIARIAS DE
NUTRIENTES EN EL SER HUMANO**

NUTRIENTES	NECESIDADES	PESCADO GRASO %	PESCADO MAGRO %	VITAMINAS	NECESIDADES	P G
PROTEÍNA	75 g	50	50	A	5000 UI	
GRASA	80 g	60	-	B ₁	1.7 mg	
CALORÍAS	2600	25	5	B ₂	1.8 mg	
FÓSFORO	1.5 g	45	40	Niacina	12 mg	
HIERRO	12 mg	30	25	D	400 UI	
YODO	0.2 mg		450			

(Ludorff y Meyer, 1978).

Asimismo, el pescado equivale a la carne en cuanto a su valor nutritivo, 100g de pescado (peso neto), equivale a 100g de carne (peso neto). Contiene materia grasa en cantidad variable según edad, especie, estado sexual y el tipo de alimentación. El hígado de los pescados es rico en grasa, pobre en calcio aunque menos que la carne, contiene menos hierro que esta, pero es fuente esencial de yodo, contiene vitamina del grupo B y fuentes de vitamina A y D recomendado para el crecimiento como el aceite de hígado de bacalao (Enciclopedia de la alimentación y de la dietética, 1979).

El valor nutricional de la dieta es medida por la presencia de elementos necesarios (vitaminas y minerales), en abundancia provee de los alimentos auxiliares (agua y oxígeno), y un balance propio entre la energía y los alimentos de crecimiento (carbohidratos, grasa y proteínas). Un balance propio entre el crecimiento y desarrollo asegura y aporta una adecuada cantidad de energía y materiales óptimos de actividad anabólica, con la adición del desarrollo, incluye reparación de tejidos, reproducción y la formación esencial de productos del cuerpo (hemoglobina, hormonas, enzimas, etc.) (Bojalil y Hernández, 1982).

En el cuadro No. 2 se describe el valor nutritivo de algunas especies de pescado consumidas en México.

CUADRO No. 2 VALOR NUTRICIONAL DE ALGUNAS ESPECIES DE PESCADO CONSUMIDO EN MÉXICO.

ESPECIE	PORC. COMESTIBLE (%)	ENER. (Kcal)	PROT. (g)	GRASAS (g)	CARBOH.(g)	Ca (mg)	Fe (mg)	TIAMI-NA (mg)	RIBO-FLABINA (mg)	NIACI-NA (mg)	AC. ASCÓR-BICO (mg)	RETINOL ($\mu\text{g eq}^{-1}$)
MOJARRA	0.50	106	19.2	2.7	0.0	15.0	3.7	0.06	0.05	5.4	0.0	5.0
CARPA	0.45	96.6	16.0	3.1	0.0	40.0	1.9	0.04	0.05	1.9	0.0	15.0
GUACHI-NANGO	0.51	91.0	20.1	0.6	0.0	14.0	0.6	0.08	0.05	1.8	0.0	-
LISA	0.51	98.0	20.6	1.1	0.0	12.0	0.5	0.01	0.10	6.9	0.0	32.0
SIERRA	0.75	118.0	19.4	3.4	1.1	10.0	0.6	0.14	0.19	4.1	0.0	32.0
TRUCHA FRESCA	0.46	87.0	18.2	1.0	0.0	12.0	1.0	0.05	0.05	2.8	0.0	-

(Secretaría de Pesca, 1986)

Explicación de los conceptos que incluye el cuadro No. 2 sobre el valor nutricional de los principales pescados y mariscos

- Porción comestible. La parte del pescado que se puede consumir (sin hueso).
- Energía. Fuerza que requiere el organismo para proveer calor y "combustible", necesarios para todas las actividades del cuerpo.
- Proteínas. Los ladrillos o bloques constructores. Muchos órganos (pulmón corazón hígado, etc.) así como los tejidos y músculos están formados por diferentes tipos de proteínas.
- Grasas. Actúan como transportadores de las vitaminas que se disuelven en grasa (A, E, D y K), dan forma al cuerpo.
- Carbohidratos. Constituyen la fuente de energía indispensable para el buen funcionamiento del cuerpo.
- Calcio. Participa en el desarrollo y mantenimiento de huesos fuertes y dientes sanos. Ayuda en la coagulación de la sangre.
- Hierro. Indispensable para la formación de la hemoglobina (glóbulos rojos).
- Tiamina. Ayuda a mantener sano el sistema nervioso, se le conoce como vitamina B₂.
- Riboflavina. Necesaria para el metabolismo de carbohidratos, es vitamina del grupo del complejo B.
- Niacina. Ayuda a mantener en buen estado la salud de la piel, lengua y sistema digestivo; se le conoce como B₃ (Secretaría de Pesca, 1986).

3.1.2.3 Composición de la Carne de Pescado.

La carne de pescado se compone de agua, proteína y grasa. La cantidad de hidratos de carbono es tan pequeña, que puede despreciarse a la hora de efectuar la valoración nutritiva del pescado.

3.1.2.4 Contenido de Agua.

La tasa de agua es bastante constante en los peces magros, alcanzando por término medio un 80%, pero llega también a 83% en peces de estructura particularmente blanda (liebre marina, rape). Asimismo, aumenta el contenido de agua en los peces magros al determinar el desove, a la vez que desciende la tasa de proteína. En estas épocas son extraordinariamente altas las necesidades energéticas y como además no tiene lugar ninguna ingestión de alimento, el organismo se ve en la necesidad de recurrir a la proteína como sustancia combustible. En los peces grasos fluctúan las cifras naturalmente más, por las variaciones del porcentaje de grasa. La cantidad de agua en los crustáceos es de un 70%, oscilando en los moluscos entre el 77 y 84%.

La transformación del pescado en distintos productos derivados del mismo lleva implícito un cierto descenso de la humedad, lo que en ocasiones, acompañado de otras medidas, permite una más prolongada conservación del pescado. Esto se consigue por procedimientos diversos, como son, entre otros, la salazón, desecado, ahumado, cocción, vaporización, tratamiento con baños de sal y vinagre, etc.

El pescado desecado, en el que la desecación constituye el único principio de conservación, debe sin embargo reducirse enseguida tanto la tasa de agua, a niveles en los que los microorganismos no puedan desarrollarse. Las cifras mínimas de agua son del 13.2 al 13.6% para mohos, y del 16.8 al 18.3% para bacterias. Esto es especialmente válido para peces magros; en los peces grasos resulta difícil la extracción del agua, ya que en ellos tiene lugar por lo general la oxidación de la grasa (Ludorff y Meyer, 1978).

3.1.2.5 Contenido de Proteína.

El componente más importante para la alimentación humana que contiene la carne de pescado son proteínas de alto valor biológico, que ocupan lugar prominente en la unión de la leche de mamíferos y huevos de aves. La carne de pescado está por ello muy indicada como fuente de proteína de alto valor para los organismos en desarrollo pudiendo administrarse como alimento y a los niños lactantes de cierto tiempo decididamente a los niños pequeños. La cantidad de nitrógeno, referido a peso fresco, oscila entre el 2.1 y 3.0, el 20 % de cuya cifra corresponde al sarcoplasma, el 20 % al tejido muscular contráctil y el 5% al tejido conjuntivo (estroma).

Además de proteína, el músculo de pescado contiene otros componentes nitrogenados (NNP, nitrógeno no protéico), que son importantes tanto para el sabor como para la descomposición de los productos (Ludorff y Meyer, 1978).

3.1.2.6 Contenido de Grasa.

Mientras que la tasa de proteína del pescado se mantiene relativamente constante entre las especies, la fracción de grasa experimenta oscilaciones tan acusadas que obliga a establecer la distinción entre pescados magros y pescados grasos. El contenido graso depende de la especie, de la edad, del momento biológico, clase de alimentación y del estado de la carne de los peces, así como de la temperatura del agua. Los peces grasos tienen los músculos impregnados de grasa, encontrándose ésta en forma de esferuelas entre las miofibrillas. Sin embargo, la grasa no está repartida en todo el cuerpo, sino que se acumula con preferencia en determinadas regiones de éste. Particularmente elevada es la proporción de grasa existente en la cara inferior del abdomen, así como en las zonas corporales en que se insertan los radios de las aletas, y en la carne roja (Ludorff y Meyer, 1978).

3.2 Antecedentes de la Tilapia.

El nombre común: Tilapia, Mojarra o Mojarra africana, actualmente se les llama Tilapias, la especie *T. nilotica* habitaba en forma natural en el río Nilo fue introducida a México por primer vez en 1964, procedente de Auburn, Alabama, EUA las cuales fueron depositadas en la Estación Piscícola de Temascal, Oaxaca. Las especies que se incluyeron en esta introducción, fueron: *Tilapia aurea*, *T. melanopleura*, y *T. mossambicus*. Posteriormente, en 1978 se introdujo la *T. nilotica* en el mismo sitio procedente de Panamá (Morales, 1991).

En 1981 se introduce en el país la Tilapia roja *Oreochromis mossambicus* y *O. Urolepis hornorum* de Florida, EUA, fueron depositadas para su cultivo en jaulas flotantes en los centros acuícolas de Zacatepec y el Rodeo en el Estado de Morelos. Nuevamente en 1986 se hace otra introducción de Tilapia roja de la especie *nilotica* procedente de Inglaterra, con dos variedades: negra y roja, depositándose en Zacatepec Morelos (Morales, 1991).

3.2.1 *Tilapia nilotica* (Linneo).

Pertencen a la familia de los cíclidos que presenta las siguientes características:

Esta especie tiene un cuerpo alargado longitudinalmente de coloración verde olivo o metálico con el vientre plateado, los machos en reproducción presentan una coloración ligeramente gris plateado. El borde de la aleta dorsal es negro u oscuro, la parte terminal de la aleta caudal es rosada, presenta bandas negras bien definidas y uniformes, la forma de su perfil es convexo y tiene labios negros. Presenta de 3 a 4 hileras de dientes robustos y gruesos, de 19 a 22

branquiespinas en la parte inferior del primer arco branquial; la aleta dorsal XVII-XVIII, 12-13; aleta anal III. 10-11; aleta pélvica y, 5; pectorales 15; con 30 a 32 escamas en una serie longitudinal. Actualmente la Tilapia se encuentra distribuida alrededor de todo el mundo, una característica que presenta es el dimorfismo sexual, ya que la hembra muestra tres orificios en el abdomen: el anal, el urogenital y el urinario, mientras que los machos sólo presentan dos: el anal y el urogenital (Secretaría de Pesca, 1994 y Santiago y Jardon, 1997).

La reproducción se inicia a una edad temprana con una talla de siete a nueve cm. de longitud. Se caracteriza porque ambos sexos desarrollan una coloración intensa en la época de reproducción, fijando su territorio donde construyen su nido, el cuál consiste en un área de 50 a 75 cm² con 5 a 10 agujeros de 10 cm de diámetro aproximado. Este nido generalmente se ubica en la zona somera del estanque. La pareja permanece junta desovando varias veces en una relación monógama. Ambos parentales cuidan de los huevos hasta que eclosionan aproximadamente a los 5 días y posteriormente como alevines por espacio de 45 a 50 días.

En la época de reproducción el cuello, las pectorales y generalmente las ventrales toman un color rojo oscuro. Los ojos son grises con tono dorado en la pupila. Las hembras son más pequeñas y de colores menos intensos. Durante la reproducción el cuello es de un rojo más delicado (Secretaría de Pesca, 1982). La temperatura del agua tiene un papel muy importante en la reproducción, ya que antes de que se inicie el desove debe existir una temperatura no menor de 20 °C, aunque se ha observado hasta de 18 °C (Morales, 1974).

La *Tilapia nilotica* empieza a desovar a los cuatro meses de edad con medidas de 16 a 22 cm. La temporada del desove es de todo el año, a intervalos de 30 a 60 días, acentuándose en marzo, mayo y septiembre. Las hembras maduras visitan estos territorios formando parejas y seleccionando un lugar para el desove (Morales, 1991).

Con respecto a la nutrición las especies omnívoras son las que se presentan con mayor densidad en los alimentos que consumen, a nivel de alevín ingieren fitoplancton y zooplancton en las etapas de cría y juvenil; además de ser planctófagas, consumen insectos y como adultos su nutrición es de crustáceos, insectos y plantas acuáticas. Las especies herbívoras presentan una alimentación que predomina en el consumo de fitoplancton en las etapas de cría y juvenil. En el adulto su consumo en hábitats naturales se basa en algas y plantas marginales sumergidas de mayor tamaño.

En cultivos controlados como estanques, encierros y jaulas para engorda, su alimentación incluye desde desechos caseros (tortilla, pan, etc.) hasta insumos agrícolas vegetales como cascarilla de arroz, hojas de maíz, fruto de palma, etc. (Secretaría de Pesca, 1988).

En cuanto a su hábitat las Tilapias viven en aguas estancadas o con poca corriente y encuentran refugio en los márgenes de los pantanos y riveras, bajo el ramaje, entre piedras y raíces de plantas acuáticas.

En forma cultivada habitan por lo general aguas lénticas (poca corriente), permaneciendo en zonas poco profundas y cercanas a la orilla donde se alimentan y se reproducen (Fondepesca, 1988).

Es conveniente mantener buenas condiciones físicas y químicas en el agua, debido a que es una importante medida sanitaria preventiva. Aunque las Tilapias son muy resistentes a una calidad pobre, éstas en cultivo intensivo, se les debe de mantener con las siguientes características (Secretaría de Pesca, 1982).

TEMPERATURA:	Máxima: 38-42.5 °C Óptima: 20-35 °C Mínima: 8-10 °C
OXIGENACIÓN:	Óptimo: 5 ppm Mínimo: 1 ppm
pH:	Máxima: 9 Óptimo: 7-8 Mínimo: 6
ALCALINIDAD:	14 - 150 ppm
DUREZA:	100-110 ppm
TURBIDEZ:	Mínimo 14 cm
TRANSPARENCIA:	45 cm

(Secretaría de Pesca, 1994)

Los valores de los límites permisibles según la Norma NOM-CCA-032 ECOL/1993

pH:	6.5 - 8.5
OXIGENACIÓN (mg L ⁻¹)	120
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2000 (μS cm ⁻¹)

Cuando la conductividad eléctrica es mayor a 1000 μS cm⁻¹, la mineralización es excesiva (Rodier, 1991).

3.2.1.1 Temperatura.

El rango natural de temperatura en el que habita la Tilapia oscila entre 20 y 30 °C aunque pueden soportar temperaturas menores.

A temperaturas inferiores de 15 °C no se alimentan y por tanto no crecen y su reproducción sólo se efectúa a temperaturas superiores a los 20 °C, el rango óptimo: 26-29 °C (Fondepesca, 1988).

3.2.1.2 Oxígeno Disuelto.

La Tilapia puede vivir en condiciones ambientales adversas debido precisamente a que soporta bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Ello se debe a la capacidad de su sangre a saturarse de oxígeno aún cuando la presión parcial de este último sea baja. Asimismo, tiene la facultad de reducir su consumo de oxígeno cuando la concentración en el medio sea bajo (inferior a 3 mg L⁻¹). Finalmente, cuando ésta concentración disminuye aún más, su metabolismo se vuelve anaeróbico. En virtud de lo anterior, la mayor parte de las especies de Tilapia pueden soportar concentraciones de oxígeno disuelto de aproximadamente 1 mg L⁻¹ e incluso por periodos cortos, valores aún menores.

Cuando la concentración de oxígeno en el medio es baja, el consumo de alimento se reduce y por lo mismo, también el crecimiento de los peces.

3.2.1.3 pH.

El rango conveniente de pH del agua para piscicultura oscila entre 7 y 8. Por otra parte, mientras más estable permanezca el pH, mejores condiciones se propiciarán para la productividad natural; misma que constituye una fuente importante de alimento para la Tilapia cuando el cultivo se desarrolla en estanque (Fondepesca, 1988).

3.2.1.4 Conductividad eléctrica.

La medida de la conductividad eléctrica permite evaluar rápida pero muy aproximadamente la mineralización global del agua. Para las necesidades urgentes, facilitará la eliminación de las aguas de mineralización demasiado elevada.

En caso de un control de distribución de agua potable, el interés de este método no reside en una sola medida, sino en una serie de determinaciones que permitirán descubrir las variaciones de composición que pueden sobrevenir debido a las fluctuaciones de las aguas superficiales de mineralizaciones diferentes y a menudo contaminadas. En las aguas superficiales y en los vertidos de aguas residuales, las modificaciones importantes de la conductividad puede cambiar rápidamente en el curso del día (Rodier, 1991).

3.3 Aguas residuales.

Los mecanismos más importantes de la acción tóxica de los metales es la relación con la inactivación de diversos sistemas enzimáticos. Elementos tales como: Cadmio, Mercurio y Litio pueden afectar el transporte pasivo celular e incluso el activo, llegando en algunos casos a romper las membranas celulares, precipitando metalo-lipo-proteínas.

En México al igual que en otros países del mundo se utilizan las aguas residuales provenientes de las zonas urbanas con fines agrícolas, esto data desde principio de siglo, época en que se construyó el gran canal de desagüe que riega una porción del Valle del Mezquital, en el estado de Hidalgo. Estas aguas generalmente no son sometidas a tratamiento alguno, lo que provoca la dispersión de contaminantes que causan alteraciones en la salud pública, degradación de los suelos y contaminación de los mantos freáticos, plantas, suelo y animales destinados al consumo humano (Mejía, *et al.*, 1990).

Dentro de éstos contaminantes destacan los metales pesados, además sólidos orgánicos disueltos y suspendidos los cuales son putrescibles y sujetos a degradación, bacterias y otros microorganismos, cuyas actividades vitales son las que causan el proceso de descomposición (Petkova y Vargas, 1992).

Agua residual se le llama a la proveniente de usos municipales, públicos o domésticos y la de usos industriales o agropecuarios que se descargue en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de agua, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo, y en general, las que se derramen en los suelos (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, 2004). Permanecen frescas mientras exista oxígeno disuelto que mantenga la descomposición aeróbica. Tales aguas son turbias, con sólidos en suspensión o flotando, de color grisáceo y de olor mohoso no desagradable (Rigola, 1989).

A diferencia las aguas negras son aquellas en las que se ha agotado completamente el oxígeno disuelto, de manera que ha entrado en descomposición anaeróbica los sólidos, con producción de ácido sulfhídrico y de otros gases, se caracterizan por su color negruzco, olor fétido y desagradable y por tener sólidos suspendidos y flotantes de color negro (Rigola, 1989).

Las aguas residuales tienen su origen en: desechos humanos y animales, desperdicios domésticos, aguas de lavado de las calles y corrientes pluviales, desechos industriales. A continuación se describe cada uno de estos componentes.

- **Desechos Humanos y Animales.**

Son exoneraciones corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales mediante los sistemas hidráulicos de los retretes y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar parte a las alcantarillas al ser lavadas en el suelo o en las calles. Estos desechos son los más importantes en lo referente a salud pública porque pueden contener organismos perjudiciales al hombre.

- **Desperdicios Domésticos.**

Proceden de las manipulaciones domésticas de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de los alimentos y lavado de la loza. Casi todos estos desechos contienen jabones y detergentes. Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas que son la parte más importante de los desechos caseros.

- **Aguas de Lavado de las Calles y Corrientes Pluviales.**

Las lluvias depositan cantidades variables de agua en la tierra y gran parte de ella lava la superficie, al escurrir arrastrando polvo, arena, hojas y otras basuras.

- **Desechos Industriales.**

Los productos de desecho de los procesos industriales son una parte importante de las aguas residuales de una población y deben de tomarse las precauciones necesarias para su eliminación. Estos desechos varían mucho por su tipo y volumen. Algunos desperdicios industriales contienen agentes espumantes, detergentes, metales pesados y otras sustancias químicas que interfieren en la disposición final de éstas (Rigola, 1989).

Siendo el agua un líquido de vital importancia para la supervivencia del hombre y de todas las formas de vida vegetal o animal, es necesario hacer un uso eficiente de ella evitando al máximo su degradación. De hecho, el desarrollo de los pueblos depende en gran medida de la cantidad y calidad del agua de que se disponga (Soc.Mex.de Ing.Sanitaria,1980).

El interés por realizar el estudio en la zona del Valle del Mezquital, surge por los resultados obtenidos en algunas investigaciones como: evaluación de metales pesados en leche de vaca (Gómez,1995), tejidos de cultivos hortícolas con flor y fruto en plantas comestibles y forrajes (Buenrostro, 1995 y Grande, 1996), donde se demuestra la presencia de estos contaminantes en niveles tóxicos en los sistemas biológicos por ellos estudiados.

En el área que nos ocupa existen vasos de almacenamiento (presas) de aguas residuales donde se practica la siembra de Tilapia ó mojarra, mismos que son utilizados para el consumo humano en las poblaciones aledañas, estos organismos acuáticos al desarrollarse en estos cuerpos de agua incorporan los metales pesados a través del alimento que consumen y lo almacenan en sus órganos en concentraciones variables, resultando de importancia conocer los niveles de concentración que se alcanza a fin de determinar si esta fuente de alimento es recomendable para su consumo por el hombre.

3.4 Metales pesados.

La mayoría de los metales pesados son biológicamente activos o potencialmente tóxicos, son miembros de la familia de los elementos de transición, tienen muchas propiedades en común, tienden a estar retenidos en sedimentos y en organismos del ambiente acuático (Aguilera, 1995).

Los metales pesados constituyen una forma seria de contaminación química por su persistencia en el tiempo y el espacio, después de su adición al medio, debido a que forman compuestos relativamente estables y no son fácilmente removidos por procesos naturales, no pueden ser metabolizados por el organismo y ejercen sus efectos tóxicos, al combinarse con uno o más grupos reactivos (ligandos) de moléculas esenciales para las funciones fisiológicas normales (Goodman y Gilman, 1994).

Los metales pesados al formar sales con los grupos reactivos se convierten en formas muy estables, llegando a ser un problema de contaminación, ya que no pueden ser fácilmente eliminados por oxidación, precipitación o cualquier otro proceso natural. Los desechos de éstos procesos son vertidos hacia el aire, agua o suelo y subsecuentemente entran a la cadena alimenticia (Cabrera, 1981).

Los metales traza, en sentido geológico son la principal fuente de los problemas de toxicidad originado por metales. Éstos se definen como los que se encuentran en una concentración de 100 ppm o inferior en la corteza de la tierra.

Los metales traza pueden dividirse en:

1. Ligeros. Son aquellos que tiene densidades inferiores a 5 gramos por centímetro cúbico. Por ejemplo: Berilio, Calcio, Potasio.
2. Pesados. Son los que tienen densidades superiores a 5 gramos por centímetro cúbico por ejemplo: Cobre, Plomo, Níquel, Zinc, Vanadio, Estaño, etc. (Duffus, 1983).

Otra forma de clasificar a los metales traza es:

Esenciales. Son considerados así, cuando las plantas y los animales los requieren para sus procesos metabólicos o de regulación, sin que pueda ser sustituido por otro en sus funciones.

Los elementos benéficos pero no esenciales, estimulan el crecimiento y desarrollo de la planta y animales.

Tóxico. Puede ser cualquier nutrimento esencial o benéfico que a partir de cierta concentración crítica bajo condiciones naturales o antropogénicas y otros incluso en cantidades mínimas. La toxicidad varía según la madurez y salud en general de la especie (Henrich, 1993).

A continuación se describen algunas generalidades de los elementos que serán objeto de estudio en esta investigación.

3.4.1 Cobre.

Elemento metálico del grupo I B. Es de color rojizo. Su punto de fusión de 1083 °C y el de ebullición 2595 °C (Hawley, 1993).

Forma las sales cúpricas (número de oxidación 2⁺) y cuprosas (número de oxidación 1⁺). Las sales cúpricas hidratadas son azuladas o verde azuladas, las cuprosas son incoloras. En general las sales cúpricas son solubles en agua, mientras que la mayoría de las cuprosas son insolubles (Rossell y Larena, 1988).

El Cu es absorbido por las raíces de las plantas en forma de Cu²⁺ y es llevado a la parte aérea (Johnson, 1979).

Fuentes.

Entre los alimentos que contienen este metal, están los mariscos, frijoles secos y cocoa (Bloomfield, 1993), vísceras especialmente hígado (20 a 400 ppm) y agua (Bonis, 1994; Carson y Ellis, 1986).

Puede encontrarse en forma de trazas, es decir inferior a un mg L⁻¹, en ciertas aguas naturales. A parte de las contaminaciones industriales o de los tratamientos agrícolas, este metal proviene habitualmente de la corrosión de las tuberías y más raramente constituye el residuo de un tratamiento de las algas por sales de cobre (Rodier, 1991).

El cobre es uno de los metales más abundantes. Es ampliamente usado en su estado metálico, ya sea en forma pura o aleaciones. Sus sales pueden encontrarse en concentraciones muy altas en el agua, los sedimentos y en la biota de algunas áreas localizadas como resultado de las actividades mineras y donde se realiza la aplicación de fungicidas de cobre (Duffus, 1983).

Cobre en el organismo humano.

El cuerpo contiene entre 100 y 150 mg de cobre, distribuido en todos los tejidos (Muller, 1988; Sánchez 1989).

Función.

Para la mayoría de los organismos es un micronutriente esencial (Duffus, 1983). Forma parte de enzimas asociadas con el metabolismo del hierro (Sánchez, 1989).

Bloomfield (1993), describe que el cobre lleva a cabo diversas funciones en el organismo como componente de muchas enzimas importantes, una de las cuales contribuye a la formación de los vasos sanguíneos, tendones y huesos. La formación de la vaina protectora alrededor de los nervios depende del cobre y la falta de éste, juega un papel muy importante en el caso de la generación del sistema nervioso en el que ya no es posible transmitir de una manera apropiada los impulsos nerviosos. También protege al organismo de los nocivos rayos ultravioleta procedentes del sol, éste elemento forma parte de una enzima que coadyuva en la formación de la melanina, el pigmento oscuro de la piel que viene a ser la protección natural contra la radiación ultravioleta.

Deficiencia en el ser humano.

Debido a que el cobre forma parte de enzimas importantes, los niveles bajos pueden causar enfermedades, como la desmineralización ósea, degeneración cerebral, despigmentación y cambios en las paredes arteriales.

La degustación de los alimentos es posible que dependa asimismo, de la presencia de cobre (Bloomfield, 1993).

La deficiencia provoca anemia y cambios óseos (Sánchez, 1989).

Absorción.

El 50% de cobre se absorbe en el estómago y en el duodeno, pero puede verse afectada por el zinc que compite con el ácido ascórbico. El cobre absorbido está expuesto por la seruloplasmina y es transportado por el plasma almacenándose en el cerebro, hígado y músculo (Bonis, 1994; Carson y Ellis, 1986).

La absorción es del 32 al 60 %. Este metal liberado se incorpora a la eritrocupreína, seruloplasmina y numerosas enzimas que lo contienen. Altos niveles de Ca, Zn, Fe, Pb, S, Mo, en la dieta afectan marcadamente la absorción, retención y distribución del cobre en el organismo debido a la competencia por los sitios de unión de las proteínas (Underwood, 1977)

Excreción.

La ruta de excreción principal es por bilis, otras rutas incluyen el sudor, orina y la saliva (Bonis, 1994; Carson y Ellis,1986).

La mayor parte del cobre que no es absorbido es excretado por las heces (90%). El hígado provee la vía principal de cobre por medio de la bilis (Organización Mundial de la Salud, 1971).

Carson y Ellis (1986) opinan que el cobre en el organismo humano es activamente absorbido en el estómago y en el duodeno. Cerca de la mitad de una dosis puede ser absorbida, pero esto puede ser disminuido por competición con el zinc.

Toxicidad.

La ingesta excesiva de cobre es venenosa para el hombre, dosis bastante bajas de sulfato de cobre pueden provocar vómitos (Muller, 1988; Sánchez 1989). El sulfato de cobre es utilizado como emético, la ingestión inadecuada puede causar inmediatamente sabor metálico, náuseas vómito y en caso más severo diarrea, úlcera, molestias en el tracto gastrointestinal, ictericia y supresión de la orina. En los casos se incluyen efectos secundarios como la hipertensión, shock y coma (Bonis, 1994; Carson y Ellis,1986).

La toxicidad relativamente pequeña podría permitir dosis más elevadas principalmente si se tienen en cuenta los aporte cotidianos debido, a la alimentación. El sabor metálico y astringente de las sales de cobre aparece ya en las dosis de 4 a 5 mg L⁻¹. Por ello es conveniente evitar una permanencia demasiado larga en presencia de cobre (Rodier,1991).

3.4.2 Níquel.

Se encuentra en el grupo VIII de la tabla periódica. Es plateado y maleable, su punto de fusión es de 1455 °C y el de ebullición de 2900 °C (Hawley, 1993).

En la mayoría de sus compuestos presenta número de oxidación 2⁺, pero se conocen estados de oxidación de 1⁺, 3⁺ y 4⁺. Las sales comunes son bastante solubles en agua. Es un elemento ampliamente distribuido en muy bajas

concentraciones en tejidos de plantas y animales, asimismo, éste elemento ésta presente en el RNA y DNA (Berman, 1980; Valkovic, 1980).

Fuentes.

Los alimentos donde podemos encontrarlo son mariscos, carnes y granos (Sánchez, 1989).

Es un micronutriente para los organismos pero en cantidades excesivas ejerce efectos tóxicos.

El Ni^{2+} se encuentra en una concentración traza difundido en el medio ambiente de nuestro planeta, está presente en agua, suelo y alimentos.

Los productos de origen vegetal, especialmente las leguminosas, tienen mayor contenido de níquel que los productos de origen animal (Underwood, 1983).

Este elemento se usa, como catalizador, mordiente y en cerámica. Es utilizado en numerosas aleaciones por sus características de dureza y también muy empleado como reactivo en síntesis (Sánchez, 1989; García, 1991).

Puede encontrarse en las aguas en contenidos que sobrepasa a menudo $5\mu\text{g L}^{-1}$, proviene generalmente de las canalizaciones de latón o de hierro galvanizado atacadas por aguas ricas en sulfatos (Rodier, 1991).

Los utensilios de cocina pueden cederlo y la cantidad liberada dependerá de la composición del utensilio, pH del alimento y el tiempo de contacto (Torán, 1987).

Níquel en el organismo humano.

La cantidad presente en el cuerpo humano es de 0.010 g (Sánchez, 1989).

Se distribuye uniformemente sin acumularse, esto es gracias a un mecanismo homeostático de control que sólo se altera cuando el individuo se halla expuesto a concentraciones del elemento anormalmente elevadas. Actúa como un cofactor o es un componente estructural de metaloenzimas específicas o metaloproteínas. Asimismo, se ha considerado como un cofactor bioligante que facilita la absorción intestinal de hierro férrico.

Este nutriente desempeña un importante papel en el metabolismo y en la estructura de las membranas, ya que es esencial para la formación enzimática o para el mantenimiento de la integridad estructural de la proteína implicada en la absorción de hierro III (Underwood, 1977).

Deficiencia.

En las deficiencias del nutrimento aparecen modificaciones que influyen en numerosos parámetros bioquímicos del metabolismo. Así, se incrementa la concentración hepática de cobre-zinc en un 50-60%, mientras que el hierro se reduce en un 700%, esta disminución se explica por una alteración en su absorción, cuando existe un déficit en níquel da lugar a la aparición de síntomas de anemia en los animales como ojos sin sangre y extremidades descoloridas.

El estatus en níquel del individuo afecta también a la glucosa y al glucógeno hepático, en estados deficitarios los contenidos se reducen con respecto al control, lo mismo ocurre con la concentración de triglicéridos (Torán, 1987). Además la deficiencia provoca neumonía (Sánchez, 1989).

Absorción.

El níquel se absorbe muy poco, del 1 al 10 % incluso cuando la ingesta es muy alta (Underwood, 1977).

Excreción.

La excreción de níquel ocurre principalmente por las heces y en muy pequeña cantidad en la orina, el riñón dispone de un mecanismo de excreción activa y en el sudor el nivel es sorprendentemente elevado alcanza los 49 g L⁻¹ (Underwood, 1977).

Toxicidad.

Este nutrimento se incluye dentro de los elementos traza de baja toxicidad por vía oral se absorbe muy poco. En consecuencia, una posible contaminación de los alimentos no implica en principio un peligro para la salud. Por otra parte las personas de las refinerías expuestas a continuas emisiones del elemento, presentan una mayor incidencia de dermatitis y neoplasia del aparato respiratorio (Underwood, 1977), ha sido implicado como un cancerígeno pulmonar en fumadores de tabaco (García, 1990).

El níquel inhalado, es poco tóxico, sin embargo tiene efectos corrosivos y manifestaciones alérgicas en los órganos respiratorios (Berman, 1980; Norseth, 1979; Valkovic, 1980).

3.4.3 Zinc.

Elemento metálico del grupo II B de la tabla periódica, de color blanco brillante con lustre gris azulado. Tiene un punto de fusión de 419 °C y de ebullición 907 °C (Hawley, 1993), quebradizo a la temperatura ordinaria, pero maleable entre

120 y 150 °C, de manera que puede ser laminado entre rodillos calientes, manteniendo su flexibilidad al enfriarse (Rossell y Larena, 1988).

Fuente.

El requerimiento diario normal de este elemento es de 15 mg y entre los alimentos que lo proporcionan están: carne, pescado, huevos y nueces (Bloomfield, 1993).

La leche materna contiene concentraciones hasta 10 veces más altas que las que se hallan en la sangre. Además éste se encuentra en una forma química que favorece una mayor absorción por el niño (Bloomfield, 1993).

Rodier (1991), menciona que en las aguas residuales de superficie, el zinc está habitualmente acompañado por plomo y cadmio. La presencia de estos dos elementos tóxicos conduciría a limitar el contenido de éste a 1.0 mg L^{-1} en el agua potable. Para la vida acuática, se presenta una cierta toxicidad, en función de la mineralización del agua y de la especie considerada.

Zinc en el organismo humano.

De acuerdo con Bloomfield (1993) es un mineral de gran importancia, es esencial durante la gestación y nutrición de los niños.

El cuerpo humano adulto contiene aproximadamente 2.3 g que se encuentran repartido en más de 100 enzimas que lo contiene. Es un mineral traza de gran importancia, en especial durante la gestación y nutrición de los niños (Bloomfield, 1993). Otros autores indican que el cuerpo contiene entre 1 y 2 mg que se encuentran presentes en todos los tejidos corporales, forma parte de diversos sistemas enzimáticos involucrados en la digestión (Muller, 1988; Sánchez, 1989).

Función.

Participa en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas, además, en la síntesis y descomposición de DNA (Bloomfield, 1993). Es esencial en la actividad de las enzimas, alcohol deshidrogenasa, carboxipeptidasa, aminopeptidasa, alcalinofosfatasa, anhidrasa carbónica, RNA polimerasa y DNA. Interviene en el metabolismo de la vitamina A (García, 1991; Bonis, 1994).

Deficiencia.

Debido a tales funciones, la deficiencia de zinc en el feto provoca un crecimiento retrasado, malformaciones del cuerpo y anomalías en los cromosomas. También la deficiencia de este elemento después del nacimiento

da por resultado el enanismo, desarrollo sexual retardado, apetito deficiente, apatía, pérdida del cabello y lentitud en la cicatrización de heridas y lesiones de la piel (García, 1991; Bloomfield, 1993; Bonis, 1994). La deficiencia provoca falta de crecimiento, glándulas sexuales pequeñas. Por el contrario un exceso presenta síntomas como fiebre, náuseas, vómito y diarrea (Sánchez, 1989).

Absorción.

La absorción se lleva a cabo en mayor porcentaje en las porciones distales del intestino delgado entre un 5% y 10%. Actualmente se aceptan dos procesos intestinales de absorción, uno por transporte activo (saturable a altas concentraciones), y otro por difusión no saturable (García, 1991; Bonis, 1994).

La forma química en la que se ingiere el elemento, influye en su absorción favoreciéndose esta en forma de sales y quelatos. La absorción varía con el nivel de éste y con la presencia de otros componentes en la dieta. Ingestiones elevadas de Cu, Fe, Mn, Cd y Cr deprimen su absorción. Existe un antagonismo mutuo entre Zn y Cu, compitiendo por los sitios de unión sobre la molécula de albúmina.

La competencia para empezar a ocupar sitios en el ligando o ligandos hasta la secreción pancreática en el lumen intestinal provee una oportunidad a estos metales a inhibir la absorción (Dabeka y Mc Kensie, 1992).

Excreción.

Se excreta principalmente por el tracto gastrointestinal, en menor cantidad por el riñón, sudor, piel y cabello. La excreción aumenta en diabetes, alcoholismo y cirrosis hepática (García, 1991; Bonis, 1994).

Toxicidad.

Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como uno de los elementos menos peligrosos, aunque su toxicidad puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas. Se han observado efectos tóxicos debido a la inhalación de humos procedentes de baños en los que se efectúa galvanoplastia (Duffus, 1983).

Es relativamente no tóxico en mamíferos, aves, vacas y humanos, estos grupos exhiben tolerancia considerable a altas ingestiones. La extensión de la tolerancia depende grandemente de la naturaleza de la dieta, particularmente si contiene calcio, hierro, cobre y cadmio, con los cuales interacciona en el proceso de absorción y utilización. Por esta razón estudios de niveles mínimos tóxicos en la dieta resultan importantes cuando es conocida y definida la posición de la dieta y el animal con respecto a estos elementos.

Este elemento es antagonista metabólico del cadmio, se espera por lo tanto que, ingestiones altas de zinc pueden dar alguna protección contra los efectos potencialmente tóxicos de las exposiciones a Cd (Underwood, 1977).

3.4.4 Cadmio.

Elemento metálico pertenece al grupo II B de la tabla periódica. Es un metal blando, maleable, blanco azulado o polvo blanco grisáceo. Pierde brillo al aire húmedo. Tiene punto de fusión de 320.9 °C y de ebullición 767 °C. Soluble en ácidos especialmente el nítrico y en solución de nitrato de amonio (Hawley, 1993).

En la naturaleza es un componente natural del suelo (0.05 ppm) y el agua (0.04 ppm), sin embargo es de baja solubilidad. Cabe mencionar que cerca de las zonas mineras, los niveles de éste en agua excede de 3 ppm (Goodman y Gilman, 1994).

Fuentes de cadmio para los organismos.

La fuente natural de cadmio lo constituye el desgaste y la erosión de las rocas (Bautista, 1994; Fergusson, 1990).

La contaminación ambiental en mucho es resultado de la utilización de la roca fosfórica con alto contenido de éste metal para la fabricación de fertilizantes. Sin embargo otras fuentes antropogénicas en la actualidad por las cuales se libera cadmio al ambiente el uso de este elemento en pigmentos y pinturas, baterías, como estabilizadores de cloruro de polivinilo (PVC), como recubrimientos de otros metales, en procesos de galvanoplastia, electroplateado, aleaciones, acumuladores, soldaduras, reactores nucleares, joyería, etc. (Albert, 1995).

La fuente principal de cadmio en el organismo es de origen alimentario, el cual puede provenir de vasijas barnizadas, así como de utensilios de cocina galvanizados; el zinc puede contener hasta el 1% de cadmio (Rodier, 1991). También se encuentra en los alimentos porque la planta los absorbe del suelo por causa de contaminación de varias fuentes (alcantarillado, fertilizantes, galvanoplastia, etc.). Puede hallarse en concentraciones elevadas en el hígado y los riñones de todos los mamíferos (World Health Organization, 1972). Se ha detectado en alimentos tales como moluscos, crustáceos, granos de té y café (Shibamoto, 1980; Albert, 1995).

Cadmio en el organismo humano.

El Cd es tóxico para todos los sistemas y funciones humanas y animales (Shibamoto, 1980). Los crustáceos, hígado y riñón de los animales se encuentran entre los alimentos que pueden tener concentraciones de este

elemento superiores a $0.05 \mu\text{g g}^{-1}$ aún en circunstancias normales (Goodman y Guilman, 1994); en leche de vaca varía con la raza, muestras de leche de diferentes vacas fluctuaron entre 0.013 y 0.485 ppm (Underwood, 1977). Por lo general las concentraciones de este elemento en el agua potable son menores a $5 \mu\text{g L}^{-1}$ (Albert, 1995).

Deficiencia.

El cadmio no es un elemento esencial para animales y plantas (Bramley, 1990).

Absorción.

Aproximadamente del 5 al 10% del cadmio ingerido por el hombre es absorbido y acumulado principalmente en los riñones bajo la forma de metalotioneína, el periodo biológico varía de 16 a 33 años (Rodier, 1991). También se acumula en hígado y órganos reproductores (Duffus, 1983).

En el organismo, está unido a una proteína, la metalotioneína, que interviene en el transporte y almacenamiento selectivo de este elemento. Sin embargo, hay evidencia de la interacción del cadmio con otros metales divalentes que pueden afectar el nivel de absorción. Se ha observado una definida competencia por el transporte a través de la pared intestinal entre el Cd y Zn, Cd y Hg. Por esto parece ser que el cadmio comparte un mecanismo de absorción similar a otros metales (Underwood, 1983; Bourgues, 1985).

Las personas con baja proporción de hierro en la sangre tienen una absorción promedio cuatro veces mayor que los individuos con concentraciones normales de hierro, este factor y otros, como la deficiencia de proteínas y calcio principalmente pueden favorecer considerablemente la absorción del cadmio.

En la absorción respiratoria, el cadmio entra al organismo principalmente en forma de aerosol. Entre el 10 y el 50 % de las partículas de este elemento que son inhaladas, se depositan en la parte alveolar de los pulmones. La absorción cutánea, se ha estudiado muy poco (Albert, 1995).

Excreción.

La principal vía de eliminación en el hombre es la orina. Tanto la bilis, como las secreciones de las glándulas parótidas y del páncreas, contribuyen a la eliminación fecal de éste. Sólo pequeñas cantidades de cadmio se llegan a eliminar por el sudor, la exfoliación epitelial y el pelo (Albert, 1995). La excreción es muy lenta, sólo 0.01 % es excretado diariamente a través de la orina. Goodman y Gilman (1994) consideran que la vida media del cadmio en el organismo del hombre es de 10 a 30 años.

Toxicidad.

Dosis muy pequeñas pueden causar vómito, diarrea y colitis. La exposición continua causa vómitos, hipertensión, agrandamiento del corazón y muerte prematura. Pruebas sugieren que el cadmio puede inducir anormalidades y puede ejercer efectos carcinógenos en los pulmones (Duffus, 1983). La toxicidad del cadmio es relativamente elevada con efecto acumulativo, se acompaña de trastornos renales, alteraciones óseas, hipertensión arterial (Rodier, 1991).

Aún las concentraciones pequeñas de cadmio en comparación con aquellas que resultan tóxicas para los peces adultos, afectan su reproducción y son tóxicos para los alevines. En los peces adultos, la toxicidad es acumulativa y la muerte generalmente se atribuye a la hipoxia por la precipitación de mucina en las branquias (Albert, 1995).

3.4.5 Plomo.

Elemento que pertenece al grupo IV A en la tabla periódica. Es un sólido gris blando con densidad de 11.35 g/cc, dúctil, su punto de fusión es de 327.4 °C y el de ebullición de 1755 °C (Hawley, 1993).

Sus estados de oxidación son 0, 2⁺, 4⁺, reacciona con valencia 4⁺, sobre todo en compuestos orgánicos (Albert, 1995). Los compuestos solubles de plomo son venenosos, y por lo tanto los tubos de plomo para conducir agua potable solo pueden utilizarse con seguridad si el agua es algo dura (Rossell y Larena, 1988).

Fuentes.

En los alimentos se ingieren de 0.1 a 0.4 mg/día y solamente 5 a 10 % de esta cantidad se absorbe. El plomo absorbido por esta vía llega al hígado y de ahí se distribuye a todo el organismo (Molina y Zuñiga, 1979). En forma global la exposición humana a este elemento es principalmente a través de los alimentos. La ingesta diaria media para un adulto oscila entre 0.1 y 2.0 mg. Sin embargo, la mayor parte de la toxicidad resulta de la exposición ambiental e industrial (Goodman y Gilman, 1994).

Asimismo, este metal pesado es un elemento relativamente abundante que se encuentra en el aire, agua, suelo, plantas y animales. Sus fuentes naturales son la erosión, desgaste de los depósitos de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. Dentro de las fuentes antropogénicas, en la actualidad se utiliza principalmente en la producción de acumuladores y baterías, pigmentos, insecticidas, explosivos, reactivos químicos, soldaduras, aditivos, antidetonantes para gasolina, alfarería vidriada, cubiertas para proteger de los

rayos X etc. (Albert, 1995). Generalmente el contenido de este metal en aguas superficiales no contaminadas no sobrepasa de 0.1 mg L^{-1} . La vida acuática puede perturbarse a partir de 0.1 mg L^{-1} (Rodier, 1991).

Plomo en el organismo humano.

La cantidad total de este elemento es de 3 mg por persona, esto equivale a 0.05 mg/kg de peso corporal (world health organization, 1972).

Absorción.

El organismo humano puede absorber este metal pesado por inhalación o ingestión. Sólo el tetraetilo de plomo puede ser absorbido a través de la piel. La absorción es muy lenta pero la excreción lo es más, de manera que el elemento tiende a acumularse.

La mayor parte de este contaminante es absorbido por los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo, encontrándose inicialmente en hígado y riñones, puede pasar a huesos, dientes y cerebro. En los huesos el plomo queda inmovilizado y no contribuye a la toxicidad inmediata, pero es un peligro potencial puesto que puede mobilizarse durante las enfermedades con fiebre y en la vejez (Duffus, 1983; Barberá, *et al.*, 1990).

Las principales vías de absorción son el tracto gastrointestinal y el sistema respiratorio. La absorción gastrointestinal varía con la edad; los adultos absorben alrededor del 10% del plomo ingerido, mientras que los niños absorben hasta un 40%. Se supone que el Pb^{++} y el Ca^{++} pueden competir por un mecanismo de transporte común, ya que hay una relación recíproca entre el contenido de calcio de la dieta y la absorción del plomo. Se absorben alrededor del 90 % de las partículas de plomo inhalado del aire del ambiente (Goodman y Gilman, 1994).

También llega a la parte baja del aparato respiratorio, aproximadamente del 35% al 50% pasa a la sangre, el resto se elimina. En este caso, la absorción depende de factores tales como:

- el tamaño de la partícula inhalada,
- la forma química,
- el ritmo respiratorio,
- las características intrínsecas del organismo.

Se han llevado a cabo estudios que indican que por vía oral sólo es absorbido el 10%.

Este metal se transporta por la sangre y en un principio se distribuye uniformemente en todos los tejidos y órganos. Después, se redistribuye

gradualmente en la sangre y tejidos blandos. Los huesos son el principal compartimiento en donde se almacena el plomo, ya que aproximadamente el 90% de la concentración corporal total se encuentra en este tejido. Otros tejidos lo concentran en menor proporción (Albert, 1995).

Una vez absorbido por vía respiratoria o digestiva se une a los eritrocitos y en un principio se distribuye ampliamente a tejidos blandos como médula ósea, hígado, riñones y testículos. Su vida media en estos tejidos es de 30 días. También atraviesa la placenta y representa un riesgo potencial para el feto. La mayor parte del plomo se fija al esqueleto y la vida media de eliminación a partir del hueso es mayor de 20 años (Beltran, 1991)

La absorción presente en alimentos es aproximadamente del 5 al 10 % en humanos. La retención de plomo inhalado es mucho más alta y aún mayor cuando el tamaño de partícula es más pequeña. La absorción y retención del metal ingerido es afectado en gran parte por los niveles en la dieta de Ca, P, Fe, Cu y Zn (López, 1987). Ingestas bajas de calcio y fósforo incrementan la absorción de este elemento y la retención disminuye cuando la dieta de calcio aumenta por encima de los requerimientos (Underwood, 1977). Berman, (1980). Establece que la vía de asimilación principal es la inhalación, ya que se absorbe del 25 a 30 %.

Excreción.

Alrededor del 90% del plomo que fue ingerido y que no se absorbió se elimina junto con las heces. Del total de este metal absorbido, un 76% aproximadamente se elimina por la orina, el resto se elimina a través del cabello, sudor y uñas etc. Las secreciones pancreáticas y biliares contribuyen a la excreción fecal. También se elimina en la leche materna en concentraciones de hasta 12 mg L⁻¹ (Rodier, 1991).

Cuando la cantidad introducida por vía bucal aumenta, la excreción fecal crece proporcionalmente; resulta importante señalar que el plomo en las heces se mantiene elevado mientras se conserva la ingesta (Molina y Zuñiga, 1979).

Toxicidad.

El plomo es susceptible de acumularse en el organismo. Se fija en particular sobre el esqueleto, donde se encuentra en estrecha dependencia con el metabolismo del calcio (Rodier, 1991). La anemia es el primer síntoma del envenenamiento crónico producido por este elemento dado que interfiere en la síntesis del grupo hemo, asociado a síntomas abdominales que pueden incluir náuseas, vómito y dolores abdominales. Más grave es la degeneración del sistema nervioso central, que también se observa especialmente en los niños (Duffus, 1983; Barberá, *et al.*, 1990).

Del mismo modo este metal produce en el hombre una enfermedad llamada saturnismo, ataca las células sanguíneas, hueso, hígado, riñón y sistema nervioso a nivel celular. Se concentra en el núcleo, mitocondrias y microsomas (Parada, *et al.*, 1975). Este elemento interfiere con algunos sistemas enzimáticos y puede causar lesiones irreversibles que pueden llegar a ocasionar la muerte. Es un cancerígeno, mutagénico y en experimentos con animales, se ha encontrado teratogenia (Berman, 1980). También la mayor parte del plomo orgánico se acumula en el cerebro, debido a su especial afinidad con los lípidos de los tejidos nerviosos (Valkovic, 1980).

El envenenamiento crónico es caracterizado particularmente por efectos neurológicos, disfunción renal tubular y anemia, daños al sistema nervioso central (causando encefalopatía y neuropatía), especialmente en niños con baja tolerancia al plomo, en ellos se presenta daños físicos al cerebro con secuelas permanentes, incluyendo problemas en la conducta e hiperactividad. La anemia es un rasgo común de envenenamiento crónico, la cual afecta la síntesis del grupo hemo y a los glóbulos rojos que presentan fragilidad y una vida corta, también afecta el metabolismo del hierro y cobre (Underwood, 1977).

3.5 Efecto de los metales pesados en peces.

El medio ambiente puede ser afectado por muchos contaminantes como son: plaguicidas, detergentes, partículas suspendidas y microorganismos patógenos entre otros. Recientemente, los metales tóxicos se han identificado como una clase de contaminantes muy peligrosos para el medio ambiente. Los metales pesados son potencialmente dañinos, persistentes y tóxicos por largos periodos de tiempo, son parte de algunos plaguicidas y se dispersan al ambiente como tales o en desperdicios y emisiones industriales no controladas. Dentro de los metales más tóxicos para los organismos, por las enfermedades que originan están: cadmio, mercurio y plomo principalmente (Henningan, 1973).

En ocasiones los compuestos que forman algunos metales son más peligrosos que el metal mismo y su concentración aumenta al pasar de un nivel trófico a otro a través de la cadena alimenticia. Algunos son tóxicos en determinadas etapas de la vida de ciertos organismos y éstos acumulan más que el medio circundante, aunque su variabilidad de acumulación en los diferentes órganos depende de la rapidez de su alimentación, del tiempo de retención y de la capacidad de detoxificación (SCEP, 1976).

Los metales se hallan presentes formando parte de los seres vivos. Los efectos adversos de estos dependen de su interacción con los organismos y comunidades en su totalidad. Existe un equilibrio entre los organismos y el ambiente el cual está determinado por la utilización de los elementos en los procesos catalíticos que ocurren en la célula y la bioacumulación de estos niveles tóxicos. Este balance está influenciado no solamente por la acumulación

y abundancia de los metales en la corteza terrestre, sino también por las formas químicas a consecuencia de las alteraciones fisicoquímicas y biológicas que provocan las actividades humanas.

La toxicidad de los metales pesados en los organismos acuáticos debida a factores fisicoquímicos involucran a todos aquellos parámetros que afectan a la especiación química de estos elementos ante la presencia de otros metales y de otros contaminantes como plaguicidas e hidrocarburos. Estos mismos factores influyen indirectamente en los efectos fisiológicos y toxicológicos que estos microelementos tienen sobre los organismos. Los efectos que estos metales producen en los organismos se caracterizan por las perturbaciones que sufren los sistemas enzimáticos en los compartimientos intracelulares en todos los sistemas biológicos estudiados, incluyendo organismos acuáticos y al hombre mismo.

Los factores biológicos que tienen relación con los efectos de los metales, están estrechamente vinculados con las condiciones propias de los organismos como son: la edad, talla, peso, sexo, estadio, madurez gonádica, capacidad de adaptación, hábitos alimenticios, entre otros (Páez, 1996). Una de las primeras hipótesis planteada para explicar la toxicidad de los metales en peces, señala que es originada por la asfixia que sobreviene de la coagulación de las mucosidades sobre las branquias.

3.5.1 Efectos de los metales a nivel celular.

El mecanismo de captura metálica por las células todavía no ha sido completamente elucidado; la evidencia indica que los metales cruzan las membranas celulares esencialmente por un proceso de transporte pasivo, aunque también puede presentarse la endocitocitosis. Estudios recientes han demostrado que las proporciones correctas entre el zinc en el medio externo, zinc enlazado a las membranas y zinc en el ambiente interno son esenciales en el mantenimiento de la estructura y funcionamiento de las membranas celulares.

En el caso del cadmio y el plomo, estos reaccionan con grupos fosfato de la bicapa de lípidos, antes de ser acomplejados por ligandos intracelulares, además, en peces el mercurio y el cadmio son capaces de romper el balance iónico y alterar las características de permeabilidad de las membranas celulares. Estos metales afectan los movimientos pasivos de los iones, así como el transporte activo, ya sea por inhibición directa de la actividad de la ATPasa, o como un efecto secundario, por ejemplo, por reducción de la disponibilidad del ATP (Bouquegneau y Gilles, 1979).

Cuando los metales pasan por la membrana celular, reaccionan con el componente citosólico y usualmente son acomplejados por quelación, formación de sales o bien por enlaces sulfhidrúlicos transformándose en

compuestos citosólicos tales como ligandos altamente específicos (metalotioneínas), sustratos, productos de la actividad enzimática, o enzimas mismas. Además, los metales pueden unirse a grupos funcionales de proteínas, tales como los grupos imidazol, sulfhidril, carboxil, amino y péptido por alguna de las vías de acuerdo con Viarengo (1985): (a) El metal tóxico desplaza un metal benéfico desde el sitio activo de la enzima; (b) El metal tóxico se enlaza a un sitio desactivándolo sobre la molécula, esto último altera la función catalítica de la enzima.

Viarengo (1985) señala también que los organismos de diferentes *phylum* frecuentemente muestran diferencias en su bioquímica y fisiología y por esta razón, es difícil describir los efectos de un metal en términos de las alteraciones del metabolismo intermedio del grupo heterogéneo de organismos acuáticos.

Los metales pueden interactuar con las proteínas del núcleo celular, alterando la estructura compleja de la cromatina o la actividad catalítica de las enzimas involucradas en el metabolismo del DNA y RNA. Se ha observado que los iones metálicos *in vitro* pueden unirse directamente a los ácidos nucleicos, ya sea a los grupos fosfato, hidroxilribosa o a las bases heterocíclicas (Eichhorn, 1973).

A los metalotioneínas se les atribuyen funciones que incluyen la detoxificación, almacenamiento y regulación de los metales pesados. Por tanto su inducción puede significar exposición a concentraciones excesivas de iones metálicos en las células y por ello diversos autores han propuesto utilizar a las metalotioneínas como un indicador bioquímico específico para la detección temprana de los efectos perjudiciales provocados por la exposición metálica (Pavicic *et. al.*, 1987; Bebianio y Langston, 1991).

Las metalotioneínas son una clase de proteínas solubles, de bajo peso molecular (6800-7000), caracterizadas por su elevada afinidad hacia cationes metálicos, carecen de aminoácidos aromáticos e histidina y poseen un inusual contenido alto (30-35%) de cisteína. éstas metaloproteínas están ampliamente distribuidas en las plantas y animales. Su papel fisiológico podría ser el relacionado con el control del metabolismo del zinc y cobre, ya sea a través del enlace de las cantidades en exceso de cationes divalentes que penetran dentro de la célula, o para permitir una redistribución de estos metales esenciales entre las apoenzimas apropiadas (Viarengo, 1985).

3.5.2 Toxicidad de metales pesados en peces.

Es difícil definir si la intoxicación por metales pesados en el organismo se efectúa por absorción a través de la alimentación o por absorción directa a la superficie corporal. Se ha demostrado que las concentraciones de metales pesados más elevadas son regularmente encontradas en los organismos que ocupan los niveles tróficos inferiores (Gutiérrez, 1982).

Dado que el comportamiento de los metales pesados en el organismo, depende de su absorción, excreción, almacenamiento y eficiencia de su sistema de regulación o desintoxicación (Bryan, 1973), las estrategias fisiológicas y bioquímicas pueden diferir ampliamente de una especie a otra (Gerlach, 1981), provocando que las concentraciones de los metales pesados varíen entre las especies e incluso de organismo a organismo, entre tejido y tejido, por la edad, madurez sexual, hábitos alimenticios, migración, dinamismo y metabolismo (Hicks, 1976; Mcfarlane y Franzin, 1980).

3.5.2.1 Toxicidad del cobre.

Su toxicidad es atribuida principalmente al ión Cu (II), forma complejos fácilmente con una gran variedad de sustancias que se hallan tanto en aguas "limpias" y aquellas consideradas contaminadas, también es adsorbido con cierta facilidad por el material suspendido (oxidihidróxidos de hierro y manganeso, minerales arcillosos, materia orgánica, entre otros) (Páez, 1996).

Los peces son muy sensibles a este ión, sobre todo la trucha. A veces la muerte de los peces no es debida a una acción directa producida por el cobre, sino a que al actuar éste como algicida, elimina las sustancias capaces de oxigenar el agua, disminuyendo considerablemente la cantidad de oxígeno, con lo que no puede desarrollarse la vida en el río (García, *et al.*, 1991).

En el medio acuático causa daño principalmente a los peces, pues reduce la producción de anticuerpos, en concentraciones de 1 ppm; además afecta el crecimiento y el desarrollo de algunos organismos marinos. En algunas ocasiones las concentraciones de cobre son más altas debido a que este metal es adsorbido, también la precipitación y la adsorción, permite remover este elemento del medio acuático (Duffus, 1983).

3.5.2.2 Toxicidad del níquel.

El pez marino *Chelon labrosus*, cuando fue expuesto a este metal, previo a la respuesta letal, mostró la presencia de manchas oscuras y dificultades respiratorias menores (Taylor *et al.*, 1985). La CL₅₀ obtenida por estos investigadores es de 118 mg L⁻¹, comparable a la encontrada en otros organismos. La tolerancia a la toxicidad en organismos acuáticos está influenciada por el pH, efectos de agregación, especie y otros factores (PEMEX, 1986).

3.5.2.3 Toxicidad del zinc.

En peces marinos, la CL₅₀ (96 hr) oscila entre 4.0-100 mg L⁻¹ y los efectos del zinc en general en los invertebrados marinos ocurren sobre un rango de

concentración menor de 1-10 mg L⁻¹ (Taylor, 1981 c). entre los efectos previos a la repuesta letal por este elemento en peces, se tiene la presencia de manchas oscuras y problemas respiratorios menores.

3.5.2.4 Toxicidad del cadmio.

El cadmio es el metal tóxico, más fácilmente distribuido en los ecosistemas acuáticos, debido a su gran solubilidad en agua, puede contaminar el aire y la alimentación. Penetra en el organismo por ingestión (Norseth, 1979), puede presentar sinergia con otras substancias, aumentando así su toxicidad en los peces, se acumula principalmente en las branquias, riñón e hígado. Se acumula en los tejidos de los organismos y se tiene conocimiento de que lesiona principalmente los mecanismos de regulación de los iones más a afectar las funciones respiratorias o nerviosas (Hellawell, 1989).

Cundo existe alta concentración produce una disminución en la producción de huevos de algunos peces (Russell, 1979). Igualmente se acumula en los tejidos y lesiona principalmente los mecanismos de regulación de los iones más que afectar las funciones respiratorias o nerviosas (Gutiérrez, 1982; Hellawell, 1989) Evidencias recientes de los estudios de hipocalcemia inducida por cadmio, sugieren que la reducción de la concentración de calcio en el plasma debe ser la responsable directa de la mortalidad (Roch y Maly, 1979).

Aparentemente los bajos niveles de calcio y vitamina D sensibilizan al organismo para acumular cadmio, cuando existe un exceso en el ambiente, la toxicidad de cadmio no depende de la forma química. Este metal puede ligar grupos sulfidos y alterar la fosforilación oxidativa en el ciclo respiratorio. También se puede encontrar en algunas algas verdes que al ser consumidas producen envenenamiento en organismos acuáticos y posteriormente al hombre (Wagner, 1974).

3.5.2.5 Toxicidad del plomo.

Es un metal no-esencial y uno de los más movilizados por el hombre. La mayoría de las sales del metal son muy poco solubles, de allí que la toxicidad aguda sea imposible de observarse bajo condiciones naturales, al igual que otros metales su toxicidad esta influenciada por la dureza de las aguas, pH y la presencia de materia orgánica entre otros. Los datos publicados sobre efectos del plomo en los peces *Limanda limanda* y *Chelon labrosus* indican que la CL₅₀ (96 h) es superior a los 4.5 mg L⁻¹ (Taylor, 1981 b). Los efectos crónicos y agudos del plomo incluyen efectos histopatológicos, deformidades, neurotoxicidad, anemia hemolítica e inhibición en la síntesis de la hemoglobina, estos efectos ocurren en peces, aún en concentraciones tan bajas del elemento en el agua como 8 µg L⁻¹ (Davies, *et al.*, 1976).

Los efectos tóxicos del plomo pueden manifestarse en los peces a partir de 1.0 mg L⁻¹. No obstante, la acción tóxica es variable según la especie y el grado de mineralización del agua (Rodier, 1991). A continuación se presenta el cuadro 3 en el que se resumen los límites permisibles de estos metales pesados en peces.

Cuadro No. 3 **RESUMEN DE LOS LÍMITES PERMISIBLES REPORTADOS EN PECES**

ELEMENTO	NOM-129-SSA1-1995 LÍMITE MÁXIMO (mg kg ⁻¹)=ppm	Kapauan, <i>et al.</i> , 1979 citado por Andaya y Gotopeng 1982 (mg Kg ⁻¹)=ppm
COBRE	----	0,970
ZINC	----	8,370
PLOMO	1,0	0,035
CADMIO	0,5	0,009
NIQUEL	----	----

En el cuadro No.4, se presenta la concentración normal en el cuerpo humano de los metales pesados de interés para el presente estudio.

Cuadro No. 4 NIVELES NORMALES DE CONCENTRACIÓN EN EL CUERPO HUMANO

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN NORMAL	VÍAS DE EXCRECIÓN	VÍAS DE ABSORCIÓN	FUENTES	DEFICIENCIA
Cd		La principal vía de eliminación es la orina. Tanto la bilis, como las secreciones de las glándulas parótidas y del páncreas, contribuyen a la eliminación fecal del Cd. Solo pequeñas cantidades se eliminan por el sudor, exfoliación epitelial y el pelo. (Albert, 1995)	La absorción puede ser gastrointestinal cuando este elemento se ingiere a través de los alimentos Absorción respiratoria, cuando entra al organismo por vía inhalatoria principalmente en forma de aerosol. Entre el 10 y el 50 % de las partículas de Cd que son inhaladas, se depositan en la parte alveolar de los pulmones Absorción cutánea. Se ha estudiado muy poco la absorción de Cd a través de la piel. (Albert, 1995).	Como fuente natural el desgaste y la erosión de las rocas. En la actualidad las principales fuentes antropogénicas por las cuales se libera Cd en el ambiente son los usos de este elemento. Sus derivados se utilizan en pigmentos y pinturas, baterías, como recubrimientos con otros metales, en procesos de aleaciones, acumuladores, soldaduras reactores nucleares, joyería etc. (Albert, 1995)	El cadmio no es un elemento esencial para animales y plantas (Bramley, 1990)
Cu	Entre 100 y 150 mg esta distribuido en todos los tejidos (Muller, 1988; Sánchez, 1989).	La mayoría del Cu que no es absorbido, es excretado a través de las heces (90%). El hígado también provee la vía principal de excreción de Cu por medio de la bilis. (Org. Mund. de la Salud, 1971).	La ruta principal de excreción es por bilis, otras incluye el sudor, orina y saliva. El 50% se absorbe en el estómago y duodeno Bonis, 1994; Carson, <i>et al.</i> , 1986).	Entre los alimentos que contienen Cu están los mariscos frijoles secos y la cocoa (Bloomfield, 1993). Alimentos como: mariscos, vísceras especialmente hígado (20 a 400 ppm) y agua (Bonis,1994; Carson, <i>et al</i> 1986).	La deficiencia provoca anemia y cambios óseos (Muller, 1988; Sánchez, 1989). La falta del Cu juega un papel primordial en el caso del sistema nervioso en el que ya no es posible transmitir de una manera apropiada los impulsos nerviosos (Bloomfield, 1993).

Cuadro No. 4 CONTINUACIÓN

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN NORMAL	VÍAS DE EXCRECIÓN	VÍAS DE ABSORCIÓN	FUENTES	DEFICIENCIA
Pb	3 mg de plomo por persona, equivale a 0.05 mg Kg ⁻¹ (World Health Organization, 1972).	La excreción es más lenta que la absorción por ello tiende a acumularse (Duffus, 1983) Alrededor del 90 % del Pb que fue ingerido y que no se absorbió se elimina junto con las heces. De la cantidad absorbida, un 76 % aproximadamente se elimina por la orina heces y el resto se elimina a través del cabello, sudor, uñas saliva, etc. También se elimina en la leche materna en concentraciones de hasta 12 mg/L (Rodier, 1991).	Las principales vías de absorción del Pb son el tracto gastrointestinal y el sistema respiratorio. La absorción gastrointestinal varía con la edad; los adultos absorben alrededor del 10% del Pb ingerido, mientras que los niños absorben hasta un 40 % (Duffus, 1983; Barbera <i>et al.</i> , 1990)	En alimentos se ingieren de 0.1 a 0.4 mg/ día (Molina, <i>et al.</i> , 1979) Como fuentes naturales son la erosión del suelo desgaste de los depósitos de los minerales del Pb y emanaciones volcánicas, así también fuentes antropogénicas que son los usos de éste (Albert, 1991).	
Zn	Entre 1 y 2 mg de Zn que se encuentran distribuidos uniformemente en todos los tejidos corporales (Muller, 1988). El cuerpo humano contiene aproximadamente. 2.3 g (Bloomfield, 1993).	Se excreta principalmente por el tracto gastrointestinal, en menor cantidad por el riñón, sudor, piel y cabello. La excreción aumenta en diabetes, alcoholismo y cirrosis hepática (Bonis, 1994; García, 1991) La mayor parte del Zn ingerido se excreta con las heces (Muller, 1988).	La absorción se lleva a cabo en mayor porcentaje en las porciones distales del intestino delgado entre un 5 y 10 %. (Bonis, 1994; García, 1991).	Entre los alimentos que lo proporcionan son: la carne, pescado, huevos y nueces. (Bloomfield, 1993).	Provoca falta de crecimiento, glándulas sexuales pequeñas y un exceso presenta síntomas como fiebre, náuseas, vómito y diarrea (Sánchez, 1989) Dietas deficientes de este elemento puede afectar el crecimiento, la pérdida del sabor y en la etapa de la pospubertad causa hipogonadismo y decremento en la fertilidad (García, 1991; Bonis, 1994). Las deficiencias de Zn en el feto provoca un crecimiento retrasado, malformaciones del cuerpo y anomalías en los cromosomas. También la deficiencia de este después del nacimiento da por resultado el enanismo, desarrollo sexual retardado, apetito deficiente, apatía, pérdida del cabello y lentitud en cicatrización de las heridas lesiones de la piel. (Bloomfield, 1993).

3.6. Espectroscopía de Absorción Atómica con Llama.

La espectroscopía de absorción atómica con llama es una técnica de análisis cuantitativo. Es útil para determinar más de 60 elementos. Además es muy sensible y cuantifica los elementos en concentraciones del orden de ppm (mg kg^{-1} , $\mu\text{g g}^{-1}$), es altamente específica, precisa y casi libre de interferencias (Skoog y West, 1984).

Se basa en la medida de la radiación electromagnética absorbida por átomos del elemento de interés.

En ésta técnica el elemento a cuantificar debe ser introducido a la celda de la muestra como átomos libres y neutros, a través de la celda constituida por una llama pasa la radiación que va a ser absorbida por la muestra.

El átomo de cualquier elemento está formado por un núcleo rodeado por orbitales en los que se encuentran los electrones distribuidos de acuerdo a su configuración electrónica, la energía más baja corresponde a la configuración electrónica más estable en la cual los electrones están en los orbitales que les corresponde y se conoce como estado basal, cuando el átomo absorbe energía un electrón de algún orbital puede ser promovido a un orbital más alejado del núcleo y pasar al estado excitado, este estado es de alta energía, es inestable y el electrón retorna espontáneamente a su orbital original o estado basal emitiendo energía. La energía absorbida involucra la Espectrofotometría de Absorción Atómica y el retorno al estado basal involucra la Espectrofotometría de Emisión Atómica.

El análisis cuantitativo, la Absorción Atómica esta basado en la Ley de Lambert y Beer, que implica la relación directa entre la cantidad de energía absorbida y el número de especies absorbentes. La energía absorbida, tiene asociada una longitud de onda característica para cada elemento.

La expresión algebraica que describe la Ley de Lambert y Beer es:

$$A = a b c$$

En donde

A = Absorbancia
a = Coeficiente de absorción
b = Longitud de la celda
c = Concentración del elemento

La aplicación práctica de esta relación consiste en determinar la absorbancia de una serie de soluciones patrón de concentración conocida, construir una gráfica que nos relacione estas dos variables y en esta gráfica interpolar el valor de la absorbancia de una muestra de concentración desconocida para conocer su valor (Willard *et al.*, 1991).

3.7. Descripción del Área de Estudio.

Alfajayucán Hidalgo.

3.7.1. Medio Histórico.

Alfajayucan fue fundado por los otomíes y mexicas. Los otomíes, la designaron con el nombre de " Audaxitzo " mientras que los segundos la llamaron Ahuexuyucán (lugar donde existen o crecen sauces del agua) de cuya denominación los españoles dedujeron " Alfajayuca ", y en la actualidad es conocida como "Alfajayucán". En el siglo XVI llegaron los franciscanos y fue elevado a municipio el 22 de abril de 1847 (Los municipios de Hidalgo,1988).

En el estado de Hidalgo se localiza el Distrito de Desarrollo Rural 063 en donde se utilizan aguas residuales para irrigar una gran extensión de tierras de cultivo (Fildardo, 1994).

Así entre 1900 y 1926 había 14 000 ha, de 1926 a 1950 el área se duplicó, mientras que entre 1950 y 1965 el área alcanzó las 42 460 ha. En la actualidad el Distrito de Desarrollo Rural 063 alcanza cerca de 100 000 ha de riego, formado por los antiguos distritos de riego 03 de Tula, el 100 de Alfajayucán y el 27 de Ixmiquilpan. Las presas en la zona de estudio, datan de distintas épocas. La más antigua es la de Taxhimay inaugurada en 1912; la Requena en 1919 y la presa Endhó en 1947. Más recientemente son las presas Vicente Aguirre (Alfajayucán) y la Rojo Gómez, junto con la presa Endhó almacenan aguas negras. La presa Taxhimay y Requena almacenan aguas blancas, aunque algo contaminadas por las descargas municipales de los poblados aledaños (Maples,1990 y Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1972).

3.7.2. Medio Físico.

El municipio de Alfajayucán se localiza en el estado de Hidalgo (Fig. No. 1). Esta ubicado geográficamente entre 20 ° 18´ y 20° 30´ de latitud norte y 99° 18´ Y 99° 30´ longitud oeste del meridiano de Greenwich, tiene una altitud de 1,898 msnm. El municipio representa el 1.9 % de la superficie del estado, con una población de 16 977 en el año 2000, con una tasa media anual de crecimiento del 7.6 % (INEGI, 2000). Colinda al norte con Huichapan, Tecozautla y Tasquillo, al sur con Chilcuautila y Chapatongo, al este con Tasquillo, Ixmiquilpan y Chilcuautila y al oeste con Chapatongo y Huichapan. El municipio se encuentra comunicado por el entronque de las carreteras federales No. 85 y 45, ubicado a 8 Km de Ixmiquilpan. Cuenta con 75.2 Km de carretera estatal y 30.3 Km de camino rural de terracería.

- El clima que presenta la región es templado frío, con una temperatura media anual de 17.20°C y con precipitación media anual de 510 mm.
- En su hidrografía, lo cruza el arroyo de Oheni, el cual desemboca en las presas Vicente Aguirre y Javier Rojo Gómez. La presa Vicente Aguirre tiene una capacidad de $20.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ (CNA, 1990).
- La flora es de matorral espinoso y pradera.
- Su fauna la forma el topo, conejo, liebre, águila, cóndor y la víbora de campo
- Ganadería: cuenta con ganado bovino de carne y leche, porcino, caprino y ovino (INEGI, 2000 y Los Municipios de Hidalgo, 1988).

3.7.3. Antecedentes Socioeconómicos.

El poblado ocupa una parte importante dentro de la zona del Valle del Mezquital, ya que probablemente sea la zona agrícola más rica, puesto que ha tenido un amplio desarrollo, la agricultura representa el 37.51 % de la superficie municipal, es muy importante porque es la fuente de ingresos de la mayor parte de la población. Los productos principales son alfalfa, forraje, frijol, maíz, nopal y durazno. Por razones sanitarias está prohibido cultivar hortalizas que tienen un contacto directo con el suelo. Pastizal 8.74% (forraje); Bosque 27.23 % (madera); Matorral 23.81% (recolección de frutas y fibras), otros 2.71% de la superficie municipal.

Podemos citar que en el Estado de Hidalgo existe gran actividad económica tradicional caracterizando sus actividades primarias como un punto muy importante en la economía estatal, ya que más del 60 % de la población económicamente activa depende de ésta; sin embargo, hay una tendencia de desplazamiento de la mano de obra del sector secundario, en especial hacia la industria de la transformación. Debido a estas tendencias existen desplazamientos de la población hacia zonas industriales del estado como: Pachuca, Ciudad Sahagún, Tulancingo, Tula, Tizayuca e Ixmiquilpan, además de migraciones a los grandes centros de producción como la Ciudad de México, Toluca, Puebla, Tlaxcala y Querétaro.

Es notable que el desarrollo de una localidad esta en función de factores determinantes caracterizando acciones definitivas para promover el cambio estructural, a este cambio se plantean estructuras físicas, sociales y económicas (Cortés y Herrera, 1995).

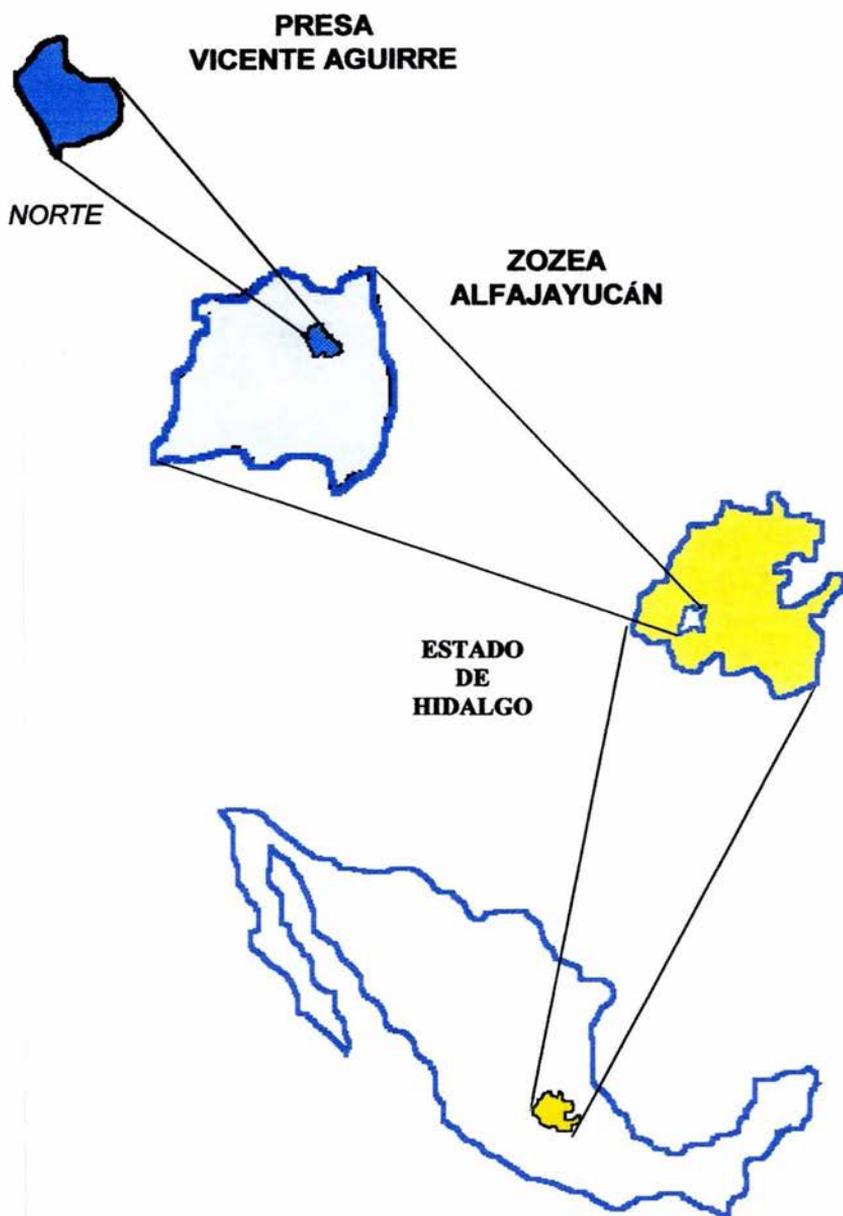


FIG. No. 1. Localización del área de estudio

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La rápida concentración poblacional que ha favorecido la industrialización, como consecuencia del desarrollo económico, ha llevado a un rápido crecimiento demográfico (Quadri, 1989). De tal forma que en el Distrito Federal al igual que en otros países del mundo, se producen grandes volúmenes de aguas residuales.

En México existen zonas críticas que día con día cuentan con una menor cantidad de recursos hidráulicos como consecuencia de su demanda; a su vez la calidad del agua se ha reducido, debido a la acumulación de aguas residuales en ríos, lagos y mares.

El Valle del Mezquital se encuentra sometido a una presión ambiental ocasionada por las aguas residuales provenientes de la Ciudad de México y de su zona conurbada principalmente. A lo largo de su curso y con el fin de regular la distribución de los grandes volúmenes de éstas aguas se han construido varias presas entre las que podemos citar Requena, Endo, De Bodhe, Javier Rojo Gómez y Vicente Aguirre. En ésta última es común la siembra de *Tilapia nilotica*.

Los efectos sobre la salud y el ambiente por el uso de las aguas residuales en las diversas actividades de la región que ocupan los distritos de riego del estado son particularmente relevantes, a tal grado que la Comisión Nacional del Agua con conocimiento de causa a comunicado a las autoridades ejidales los niveles de contaminación y las restricciones legales para el cultivo de varias especies de hortalizas.

Poca atención se ha prestado a la producción acuícola que se obtiene de las presas. Sin embargo al crecer organismos acuáticos en éstos cuerpos de aguas residuales, se espera encontrar en ellos la presencia de contaminantes en sus tejidos, por tal razón en la presente investigación se realizó un estudio en la presa Vicente Aguirre sobre la evaluación de los niveles de cinco metales pesados en el medio acuático y en los tejidos de la principal especie cultivada y consumida la *Tilapia nilotica*.

Por el perfil profesional del Q.F.B., a los egresados de esta profesión les corresponde efectuar los análisis necesarios para establecer el uso adecuado de los alimentos, a través de la realización, supervisión de los procedimientos y técnicas empleados para determinar mediante investigación, el valor alimenticio de una sustancia, su calidad y los efectos tóxicos, a fin de establecer si es recomendable como alimento.

5. OBJETIVOS.

5.1. Objetivo General.

Determinar los niveles de contaminación por Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en agua y en tres diferentes órganos de *Tilapia nilotica*, colectadas en la presa Vicente Aguirre en Zozea Alfajayucan en el Edo. de Hidalgo.

5.2. Objetivos Específicos.

1. Medir la concentración de los metales pesados Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en el agua de la presa.
2. Cuantificar los niveles de concentración de dichos metales pesados en branquias, vísceras y tejido muscular en *Tilapia nilotica*.
3. Establecer la relación entre los metales presentes en el agua y los niveles de concentración registrados en los diferentes órganos para cada órgano.
4. Definir si es recomendable el consumo de los organismos cultivados en este cuerpo acuático.

6. HIPÓTESIS.

Se ha encontrado en diversos organismos biológicos de prueba que existen diferentes órganos de acumulación de contaminantes, esto propiciado por la actividad fisiológica que realiza cada órgano o tejido, así como por su composición, se espera encontrar en *Tilapia nilotica* diferencias en la acumulación de metales pesados de un órgano a otro.

En la naturaleza las condiciones ácido-alcalinas y óxido-reductoras determinan la actividad química de los elementos, creemos que la disponibilidad de los metales pesados está en función de éstos factores del ambiente y de la actividad biológica que se presenta en el medio.

7. MATERIAL y EQUIPO.

7.1. Material.

- Hielera
- Matraces Kjendhal de 30 mL
- Matraces volumétricos de 50 y 100 mL Pyrex
- Pipetas volumétricas de 1, 2, 5 y 10 mL Pyrex
- Pipetas graduadas de 5 y 2 mL
- Frascos de polietileno de 80 mL. y 1 L
- Probetas de 50 y 200 mL Pyrex
- Termómetro -10 a 110 °C
- Embudo de filtración
- Mortero con pistilo.
- Piseta de 250 mL
- Perilla de seguridad
- Soporte universal con anillo metálico
- Papel aluminio
- Papel filtro Whatman No. 42
- Bolsas de polietileno

7.2. Instrumentos y equipo.

- Espectrofotómetro PYE-UNICAM SP 192 con quemador de flujo laminar de 10 cm. de longitud
- Lámpara de cátodo hueco para cada uno de los elementos

- Balanza analítica Marca OHAUS Modelo GA 200
- Balanza digital Marca OHAUS Modelo No. CT 12 00-S
- Parrilla de calentamiento con agitación Marca Thermolyne Modelo SP 46925
- Digestor Labconco 60011
- Horno Ríos Rocha Modelo EG
- Potenciómetro Corning Modelo 12 con electrodo de vidrio
- Conductímetro digital CL 8

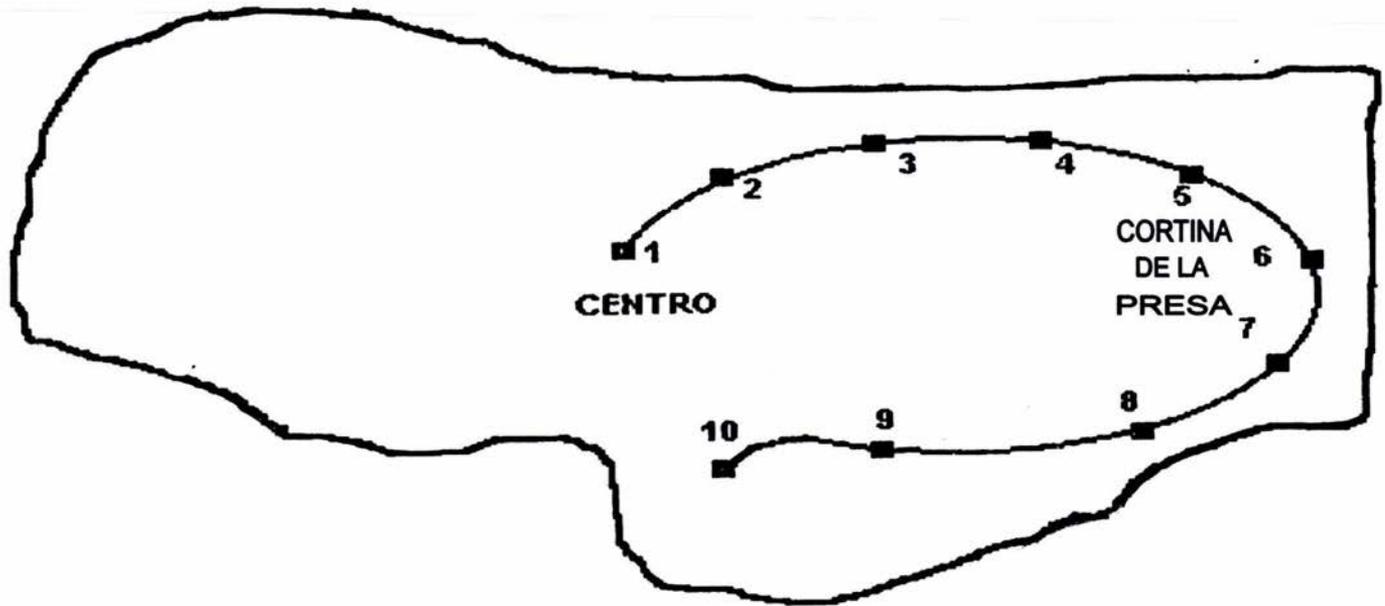
7.3. Reactivos.

- Ácido nítrico MERCK grado analítico
- Ácido perclórico J.T. BAKER grado analítico
- Ácido sulfúrico J.T.BAKER grado analítico
- Sol. patrón para Cadmio titrisol MERCK
- Sol. patrón para Cobre titrisol MERCK
- Sol. patrón para Níquel titrisol MERCK
- Sol. patrón para Plomo titrisol MERCK
- Sol. patrón para Zinc titrisol MERCK
- Peróxido de hidrógeno Productos Químicos Monterrey, S. A. grado analítico
- Agua destilada

8. METODOLOGÍA.

8.1. Toma de Muestras

10 muestras de agua y 30 organismos fueron colectados en 10 puntos de la presa Vicente Aguirre en Zozea Alfajayucán en el estado de Hidalgo, como se muestra en la figura No. 2.



**FIGURA No. 2. PUNTOS DE MUESTREO DE AGUA EN LA
PRESA**

VICENTE AGUIRRE ZOZEA ALFAJAYUCÁN EDO. DE HIDALGO

8.1.1. MUESTRAS DE AGUA

Muestras de agua de 10 sitios de muestreo se tomaron por duplicado sumergiendo cada uno de los frascos de polietileno, previamente lavados con detergente y enjuagados con ácido nítrico al 30 %, el frasco se enjuagó tres veces con el agua de la fuente a analizar y se colectó la muestra que fue sometida a análisis (Jenkis, 1983).

Para su conservación, la muestra se aciduló con ácido nítrico hasta tener un pH menor ó igual a 2. Después de acidular se conservó a una temperatura de 4 °C. Esto es con el fin de evitar un cambio de volumen ocasionado por evaporación, bajo estas condiciones las muestras se transportaron al laboratorio para su análisis (APHA, 1989; Norma Mexicana NOM-AA-003. Aguas residuales-Muestreo. DOF, 1980).

8.1.2. MUESTRAS DE ORGANISMOS

Una muestra de 30 organismos de talla comercial fue colectada, en bolsas de polietileno, posteriormente se colocaron en una hielera, para transportarlas al laboratorio a 4°C para su análisis.

8.2. ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA

Las pruebas que se realizaron *in situ* en agua fueron:

PARÁMETROS DE CAMPO

- **TEMPERATURA** con un termómetro con columna de mercurio escala -10 a 110 °C.
- **pH** con un potenciómetro Corning modelo 12 con electrodo de vidrio.
- **CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA** según lo descrito por Bowen y Wilcox, 1965 con un conductímetro digital CL8.
- **OXÍGENO DISUELTO** con un oxímetro marca YSI Modelo 53.

• 8.3 METALES PESADOS EN AGUA.

Las muestras de agua fueron sometidas a análisis 48 horas después de colectadas.

Se utilizó material de cristalería Pyrex, previamente tratado con una solución de ácido nítrico al 30% durante 24 hr., 100 mL de agua fueron digeridas a reflujo con 5 mL de ácido nítrico concentrado en un vaso de precipitados cubierto con un vidrio de reloj y llevando el volumen entre 10 y 20 mL momento en el cual se adicionaron 5 mL más de ácido nítrico concentrado y se colocó a reflujo lento hasta una digestión completa. El extracto así obtenido fué filtrado en papel Whatman No. 42 y aforado a 100 mL para finalmente determinar los metales pesados con un espectrofotómetro de absorción atómica.

8.4 METALES PESADOS EN PECES.

Cada uno de los organismos fue medido y pesado con el fin de conocer su talla. Posteriormente, se extrajeron por separado branquias, vísceras y tejido muscular de cada uno de los organismos, se pesaron y colocaron en papel aluminio en un horno Ríos Rocha a 60 °C durante 24 horas, se enfriaron y pesaron para calcular el contenido de humedad de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{peso fresco} - \text{peso seco}) 100/\text{peso seco}$$

200 mg de tejido seco y molido en mortero fueron digeridos en un matraz Kjendhal con una mezcla de ácido nítrico, sulfúrico y perclórico en proporción 5:1:1, el extracto fue filtrado en papel Whatman No. 42 y aforado a 50 mL para leer en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Buenrostro, 1995).

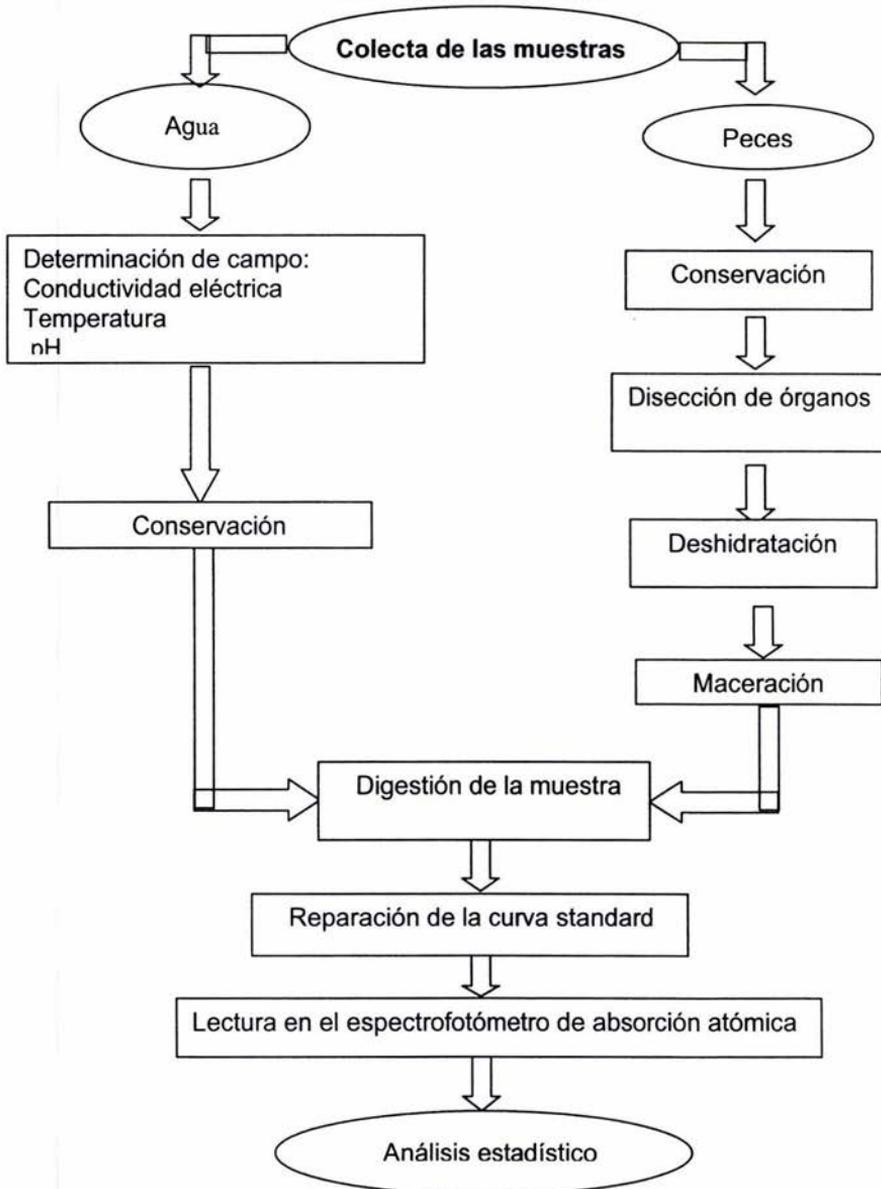
Los metales pesados presentes en agua y tejido animal fueron cuantificados mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con llama. Para cada uno de los elementos Cd, Cu, Ni, Pb y Zn se preparó una curva de calibración (Norma Mexicana NOM-AA-51. Determinación de metales-Método Espectrofotométrico de Absorción Atómica. DOF, 1981).

Las lecturas se realizaron a las siguientes longitudes de onda:

ELEMENTO	LONGITUD DE ONDA (nm)
cadmio	228.8
cobre	324.7
níquel	232.0
plomo	283.3
zinc	213.8

Todo el análisis estadístico y procesamiento de datos fueron efectuados en una computadora AcerMate 486SX/20, usando un paquete estadístico Stat graphics versión 4. Se llevó a cabo un análisis de varianza seguido por una prueba de Tuckey para comparar las medias de los elementos en las diferentes estructuras para cada órgano. Los coeficientes de correlación entre los diferentes metales fueron calculados usando valores de Pearson.

DIAGRAMA DE FLUJO



9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

9.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA.

Este estudio tiene la finalidad de cuantificar los metales pesados que se encuentran en el agua de la presa Vicente Aguirre en Alfajayucán, así como la presencia de los mismos en los peces, puesto que éstos constituyen una fuente alimenticia para los pobladores de las áreas circunvecinas. La alteración de cualquier elemento repercutirá en el ecosistema y el efecto al rebasar los límites normales puede alterar la salud de los seres vivos que lo consumen.

Los parámetros físicos y químicos analizados en las muestras de agua son: pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica, Oxígeno y sus valores promedio, máximo y mínimo son descritos en la Cuadro 5.

- **pH.** El valor de pH obtenido oscila entre 8.8 - 8.9, de acuerdo a los límites máximos permisibles que establece la NOM-001-ECOL-1996 de: 6.5 - 8.5 rebasa ligeramente el máximo permitido. De acuerdo con la información del Cultivo de la Tilapia correspondiente a la Secretaría de Pesca (1994), los límites permisibles en agua son de 6.0 a 9.0 siendo el óptimo de 7.0 - 8.0 y los valores obtenidos en la presa caen dentro de los límites y ligeramente por arriba del óptimo recomendado para su cultivo.
- **Temperatura.** La información para el cultivo de la Tilapia correspondiente a la Secretaría de Pesca 1994, señala que el valor máximo va de 38-42.5 °C y óptimo de 20.35 °C. El valor obtenido en la Presa Vicente Aguirre fue de 23.5 a 25.5 °C, estos valores caen dentro del rango óptimo para su cultivo. La misma Secretaría recomienda el rango de temperatura de 25-32 °C para su crecimiento por lo que los valores registrados en el estudio caen dentro de esta recomendación.
- **Conductividad Eléctrica.** Este parámetro está relacionado con la mineralización y los valores obtenidos en la presa varían de 1.050 - 1.082 dS m⁻¹. En la literatura, no se encuentra reportada un valor óptimo de concentración salina o el intervalo de tolerancia o el límite máximo en el cual *Tilapia nilotica* pueda desarrollarse. No obstante en la presa se desarrollan organismos de hasta 430 g de peso por lo cual se considera que el agua de la presa posee condiciones de salinidad que no afectan su desarrollo.
- **Oxígeno.** La cantidad de oxígeno registrado se encuentra dentro de los límites permisibles de acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996. Puede pensarse que la cantidad de oxígeno encontrado es alto, pero estas cantidades se justifican ya que el registro del muestreo se efectuó en la superficie del cuerpo acuático, donde la actividad fotosintética es máxima, sin embargo, por efectos de homogenización debido a la convección natural que ocurre por el gradiente de temperatura entre la superficie y el fondo, estas

cantidades disminuyen durante el transcurso de la noche quedando en el rango permisible para el crecimiento y desarrollo de la especie estudiada.

Cuadro No. 5 PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN AGUA DE LA PRESA DE ALFAJAYUCÁN HIDALGO.

No. DE MUESTRA	pH	TEMPERATURA (°c)	O ₂ (ppm)	COND.ELEC. (dS m ⁻¹)
1	8.9	24.5	26.5	1.050
2	8.8	24.5	27.5	1.063
3	8.8	24.8	27.5	1082
4	8.8	25.0	28.0	1.076
5	8.8	25.0	34.0	1.057
6	8.9	25.5	38.0	1.065
7	8.9	25.0	31.5	1081
8	8.8	24.5	26.5	1080
9	8.9	24.0	19.0	1.079
10	8.8	23.5	14.5	1.073
PROMEDIO	8.8	24.6	27.3	1.071
MÁXIMO	8.9	25.5	38.0	1.082
MÍNIMO	8.8	23.5	14.5	1.050
DESV. ESTD.	0.1	0.6	6.8	0.011

9.2. ELEMENTOS METÁLICOS EN LAS MUESTRAS DE AGUA.

Los elementos que fueron analizados en las muestras de agua fueron: Cd, Cu, Ni, Pb y Zn.

Los valores promedio, máximo y mínimo, así como desviación estándar son reportados en el cuadro 6.

- **Cu.** El promedio de cobre encontrado en las muestras de agua fue de 0.046 ppm cantidad que se encuentra en un nivel por abajo del límite máximo permisible recomendado por la NOM- 001-ECOL-1996, cuyo rango para explotación pesquera es de 4.0-6.0 ppm. En el Cuadro 6 se encuentran los valores obtenidos en las muestras de agua, este es el de mayor concentración de los aquí analizados, este elemento no tiene variaciones significativas en las muestras estudiadas.

- **Ni.** La cantidad de níquel promedio encontrada fue de 0.003 ppm cuyo valor no supera al límite de 2.0 - 4.0 ppm que recomienda la NOM- 001-ECOL-1996 para riego agrícola y explotación pesquera. Este elemento es el de menor concentración encontrado en el análisis de las muestras de agua.
- **Zn.** La cantidad de zinc promedio encontrada fue de 0.035 ppm, nivel por debajo con relación a la cantidad máxima permisible 10.0 - 20.0 ppm recomendada por la NOM- 001-ECOL-1996 para riego agrícola y explotación pesquera.

Tanto el Zn, Ni y Cu son elementos esenciales y pese a estar en el agua por debajo de los niveles de concentración permisibles, esta no es la única fuente por la cual los organismos pueden adquirirlo sino a partir de los alimentos, debe mencionarse que *Tilapia nilotica* es una especie con hábito alimenticio detritívoro bajo ciertas condiciones, ello explica los valores obtenidos para éstos elementos en los diferentes tejidos del organismo.

De acuerdo con Páez (1996), el mecanismo de captura metálica por las células todavía no ha sido completamente dilucidado, sin embargo hay evidencias que indican que los metales pasan las membranas celulares por un proceso de transporte pasivo y no descarta el que pueda presentarse la endocitosis

- **Cd.** Es un elemento no esencial, la cantidad de cadmio en las muestras de agua presentan una variación significativa como puede observarse en la Gráfica 1, este intervalo cambia con la localización de muestreo a lo largo de la presa. El valor promedio encontrado es de 0.037 ppm, no rebasa los límites recomendados por la NOM-001-ECOL-1996 para riego agrícola que es de 0.20 - 0.40 ppm y explotación pesquera cuyo intervalo aceptado es de 0.10 - 0.20 ppm.
- **Pb.** Se trata de un elemento no esencial. La NOM-001-ECOL-1996 establece la presencia de plomo en el agua para riego agrícola con un límite de 0.5 - 1.0 ppm y para la explotación pesquera un valor de 0.2 - 0.4 ppm; los cuales no son rebasados puesto que el promedio obtenido de las muestras analizadas fue de 0.006 ppm por debajo de lo recomendado.

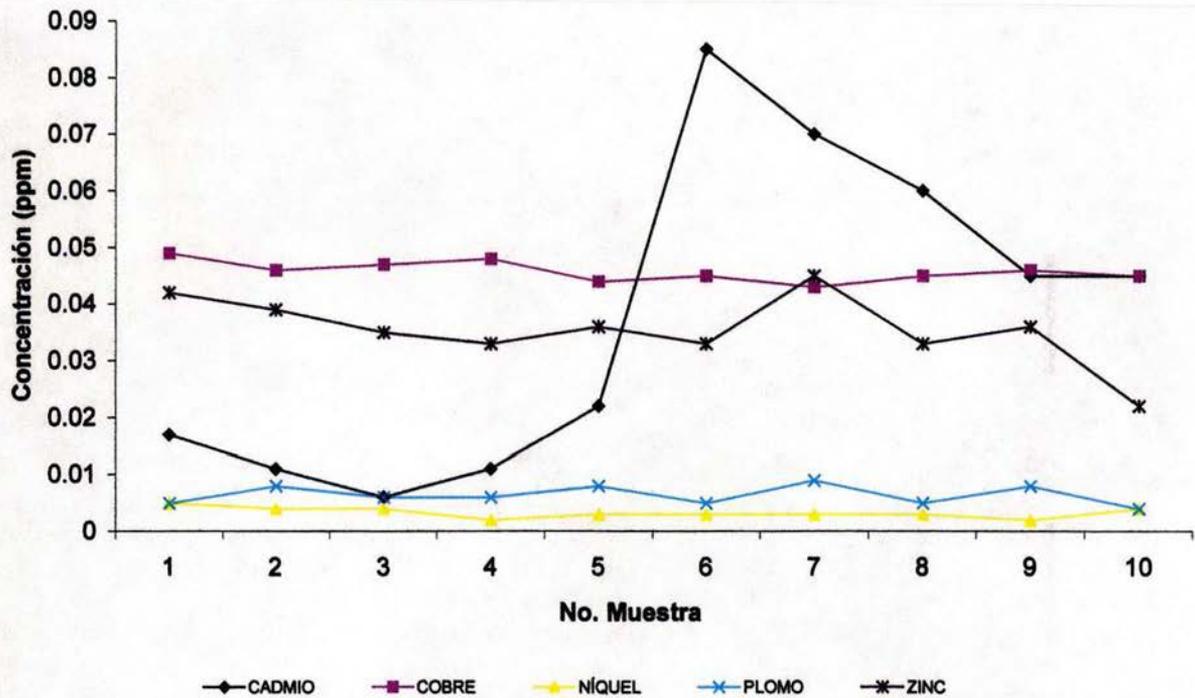
**Cuadro No. 6 CONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS PESADOS EN AGUA
(ppm)**

MUESTRA	COBRE	ZINC	PLOMO	NIQUEL	CADMIO
1	0.049	0.042	0.005	0.005	0.017
2	0.046	0.039	0.008	0.004	0.011
3	0.047	0.035	0.006	0.004	0.006
4	0.048	0.033	0.006	0.002	0.011
5	0.044	0.036	0.008	0.003	0.022
6	0.045	0.033	0.005	0.003	0.085
7	0.043	0.045	0.009	0.003	0.070
8	0.045	0.033	0.005	0.003	0.060
9	0.046	0.036	0.008	0.002	0.045
10	0.045	0.022	0.004	0.004	0.045
PROMEDIO	0.046	0.035	0.006	0.003	0.037
MÁXIMO	0.049	0.045	0.009	0.005	0.085
MÍNIMO	0.043	0.022	0.004	0.002	0.006
DESV.ESTD.	0.002	0.006	0.002	0.001	0.028

Para éste elemento puede observarse una zonificación en la presa, encontrándose la mayor concentración en la cortina, hacia la parte noreste del cuerpo acuático (Figura 2), más concretamente hablamos de los sitios de muestreo 6, 7 y 8 ubicados cerca de la cortina y del 9 y 10 localizados en la parte este de la presa. Cabe señalar que en éstos puntos se encuentra la columna de agua con mayor profundidad y es la zona opuesta a los afluentes que suministran el agua a la presa, probablemente en esta zona se lleva a cabo la mayor acumulación de sedimentos aportados por el agua, a la vez que ocurre el proceso de descomposición de los materiales orgánicos aportados liberando al cadmio o disminuyendo el flujo de agua.

Como puede observarse ningún dato supera los niveles máximos permisibles recomendados, lo cual implica que los elementos analizados aparentemente no alteran los procesos funcionales del ecosistema y de la vida acuática existente. La relación del cobre por ser el elemento de mayor concentración con respecto al plomo si se observa puesto que cuando la concentración del Cu aumenta, la del plomo disminuye y viceversa; no ocurre lo mismo con el níquel, cadmio y zinc, puesto que las concentraciones son bajas y su relación es muy significativa (Gráfica No. 1).

A los resultados cuantitativos obtenidos se les realizó un análisis de correlación. En el caso de los metales pesados en agua (Cuadro 7), se encontró una correlación negativa entre Cd y Cu disueltos y una correlación positiva entre Pb y Zn en este caso a medida que la concentración de Pb se eleva lo hace la concentración de Zn.



GRÁFICA No. 1 CONCENTRACIÓN DE LOS ELEMENTOS PESADOS EN AGUA (ppm)

**Cuadro No. 7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CORRELACIÓN
DE METALES PESADOS EN AGUA.**

Coeficiente de Correlación/Prob >R bajo Ho = 0

	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
Cu	1				
	0				
Zn	-0.0479	1			
	0.8455	0			
Pb	-0.0059	0.1854	1		
	0.9809	0.4474	0		
Ni	0.0886	-0.0238	-0.0148	1	
	0.7183	0.9230	0.9520	0	
Cd	-0.5949	0.0704	-0.1400	-0.03557	1
	0.0073	0.7746	0.5677	0.8847	0

9.3 ELEMENTOS METÁLICOS EN TEJIDOS DE PECES.

El análisis de correlación para los metales pesados en los organismos (Cuadro 8), señala que en el caso de vísceras, hay correlación positiva del Cu con Ni y Cd; y Ni con Cd.

El análisis de correlación que se hizo a los resultados indica que: el Zn es el elemento que guarda correlación negativa con el resto de los metales pesados analizados, en los tres órganos. El cobre favorece la absorción de Ni y Cd en vísceras, mientras que en branquias favorece al Zn, finalmente en músculo la de Zn, Ni y Cd.

En este estudio se encontró que:

El cobre favorece la incorporación de Ni y Cd en vísceras, de Zn en branquias y la de Zn, Ni y Cd en músculo.

El plomo favorece la acumulación del Ni y Cd en branquias.

El níquel favorece la absorción del cadmio en vísceras y branquias.

El plomo favorece la absorción del níquel y cadmio en branquias de *Tilapia nilotica*.

En los Cuadros 9, 10 y 11 se muestran las concentraciones para los diferentes

metales, en cada uno de los órganos de los 30 individuos estudiados de *Tilapia nilotica*, puede observarse que para un mismo elemento existe una variabilidad amplia en el mismo órgano en los 30 individuos. Cada uno de los datos representa un promedio de las 3 repeticiones, para cada metal y órgano, así como el valor promedio, máximo, mínimo y la desviación estándar del promedio de tres valores por cada individuo estudiado.

Todos los resultados de concentración están expresados en términos de biomasa fresca del tejido analizado.

En el Cuadro 12 se reporta el valor promedio para la concentración de los diferentes elementos metálicos contaminantes en los órganos para *Tilapia nilotica*, es importante señalar que la NOM-129-SSA1-1995 señala como límite máximo permisible en peces 1.0 ppm para Pb y en este estudio se encontraron concentraciones de 2.460 - 4.330 ppm en los tres órganos, es decir, por arriba del límite permisible. Para Kapauan, *et al.*, (1979) citado por Andaya y Gotopeng (1982), el límite permisible es de 0.035, muy por debajo de la concentración encontrada en este estudio. Con base en estas dos fuentes de información, no se recomienda el consumo de esta especie.

Para el caso de Cd, y de acuerdo con la normatividad mexicana (NOM-129-SSA1-1995) branquias y vísceras dos órganos que no tienen importancia desde el punto de vista alimentario, están ligeramente por debajo del límite de concentración, para este mismo elemento la parte consumida por el ser humano (músculo) presenta bajos contenidos, sin embargo de acuerdo con Kapauan, *et al.*, (1979) citado por Andaya y Gotopeng (1982), el cadmio rebasa los límites máximos permisibles en los tres órganos y no se recomienda su consumo.

El Zn y Cu, en todos los órganos de los peces estudiados se encontraron en concentración por debajo de lo reportado por Kapauan, *et al.*, (1979) citado por Andaya y Gotopeng (1982).

En el Cuadro 13 se reportan ordenados en forma decreciente las concentraciones para los metales por órgano, puede observarse que el Pb es el más concentrado en los tres órganos, el Zn es el segundo elemento más concentrado en músculos y vísceras, mientras que el Cu lo es en branquias, es importante señalar que el Cu y el Zn ocuparon el 2o. o 3er lugar dependiendo del órgano, esta distribuido en todo el organismo. Finalmente, Ni es el menos concentrado de los cinco.

Haciendo un análisis comparativo del peso y talla de los órganos con los niveles de concentración para los diferentes elementos metálicos analizados, (Cuadro 14) se encontró que no existe ninguna relación entre el peso y la longitud corporal del organismo con los niveles de concentración promedio de los elementos metálicos contaminantes (Cuadro 13).

**RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN DE METALES PESADOS EN VÍCERAS,
BRÁNQUIAS Y MÚSCULO DE *Tilapia nilotica*.**

Coeficiente de Correlación de Pearson / Prob > R bajo Ho = 0

VÍCERAS

	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
Cu	1				
	0				
Zn	-0.0890	1			
	0.4043	0			
Pb	-0.1834	-0.0084	1		
	0.0836	0.9370	0		
Ni	0.4125	-0.0908	-0.0375	1	
	0.0001	0.3948	0.7255	0	
Cd	0.2915	-0.0603	-0.0872	0.4593	1
	0.0053	0.5721	0.4140	0.0	0

BRANQUIAS

	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
Cu	1				
	0				
Zn	0.2059	1			
	0.0515	0			
Pb	-0.0365	-0.0043	1		
	0.7325	0.9681	0		
Ni	-0.0293	-0.0208	0.0242	1	
	0.7841	0.8454	0.8207	0	
Cd	-0.0203	-0.0654	0.0832	0.3908	1
	0.8493	0.5403	0.4359	0.0001	0

MUSCULO

	Cu	Zn	Pb	Ni	Cd
Cu	1				
	0				
Zn	0.0323	1			
	0.7627	0			
Pb	-0.0250	-0.0128	1		
	0.8151	0.9048	0		
Ni	0.0149	-0.0035	0.0110	1	
	0.8893	0.9738	0.9183	0	
Cd	0.0924	-0.304	-0.01975	0.0265	1
	0.3886	0.7759	0.8541	0.8039	0

Cuadro No. 9 CONCENTRACIÓN EN PESO HÚMEDO DE ELEMENTOS PESADOS EN VÍSCERAS (ppm).

No. MUESTRA	COBRE	ZINC	NIQUEL	PLOMO	CADMIO
1	0.364	1.204	0.156	2.08	0.439
2	0.405	1.054	0.179	1.84	0.316
3	0.885	1.080	0.173	2.22	0.352
4	0.796	0.983	0.185	2.11	0.409
5	0.809	1.221	0.174	2.09	0.468
6	0.884	0.900	0.213	2.10	0.560
7	1.005	0.779	0.174	2.06	0.599
8	0.354	0.916	0.196	1.99	0.624
9	0.873	1.582	0.201	1.78	0.661
10	0.695	0.977	0.207	1.70	0.651
11	0.923	1.026	0.169	1.73	0.699
12	1.025	0.110	0.219	1.63	0.718
13	0.857	0.158	0.211	1.92	0.713
14	0.401	1.092	0.198	1.63	0.744
15	0.445	0.967	0.235	1.54	0.741
16	0.475	0.161	0.234	1.65	0.767
17	0.389	1.540	0.234	2.44	0.604
18	0.280	1.874	0.183	2.87	0.272
19	0.280	1.462	0.203	1.90	0.315
20	0.279	1.260	0.188	2.79	0.275
21	0.344	1.309	0.161	2.64	0.256
22	0.304	1.121	0.110	2.31	0.236
23	0.343	1.399	0.092	2.79	0.241
24	0.294	1.434	0.138	3.63	0.255
25	0.333	1.510	0.115	4.96	0.274
26	0.309	1.275	0.111	4.61	0.236
27	0.376	1.448	0.095	4.30	0.234
28	0.292	1.274	0.060	5.96	0.226
29	0.287	0.866	0.086	6.54	0.247
30	0.380	1.709	0.059	7.39	0.235
PROMEDIO	0.563	1.156	0.165	2.84	0.486
MÁXIMO	1.025	1.874	0.235	7.39	0.767
MÍNIMO	0.280	0.110	0.059	1.54	0.226
DESV.ESTD.	0.268	0.3430	0.057	1.568	0.378

Cuadro No. 10 CONCENTRACIÓN EN PESO HÚMEDO DE ELEMENTOS PESADOS EN BRANQUIAS (ppm).

No. MUESTRA	COBRE	ZINC	NIQUEL	PLOMO	CADMIO
1	0.869	1.559	0.833	7.92	0.311
2	0.851	1.343	0.082	8.71	0.288
3	0.919	1.344	0.106	7.60	0.302
4	0.850	1.226	0.146	3.48	0.284
5	0.747	1.250	0.163	3.82	0.273
6	0.833	1.281	0.149	3.59	0.309
7	0.821	1.503	0.119	2.67	0.255
8	0.839	1.323	0.112	3.48	0.248
9	0.829	1.704	0.085	2.83	0.254
10	0.848	1.376	0.092	3.24	0.220
11	0.874	0.103	0.243	3.23	0.243
12	0.934	0.109	0.241	2.64	0.241
13	0.918	0.140	0.262	1.37	0.262
14	0.938	0.111	0.236	0.35	0.236
15	0.949	0.135	0.254	1.17	0.254
16	0.689	0.136	0.273	6.25	0.273
17	0.240	0.147	0.248	6.14	0.248
18	0.194	0.083	0.263	10.0	0.263
19	0.256	0.103	0.261	9.75	0.261
20	0.429	0.089	0.234	10.23	0.234
21	0.177	0.106	0.234	2.89	0.249
22	0.152	0.154	0.254	2.58	0.254
23	0.152	0.092	0.254	2.60	0.254
24	0.145	0.109	0.280	2.91	0.280
25	0.134	0.107	0.236	2.71	0.236
26	0.134	0.112	0.281	3.25	0.281
27	0.536	0.101	0.283	6.44	0.283
28	0.756	0.059	0.237	2.68	0.237
29	0.728	0.053	0.227	2.77	0.227
30	0.823	0.040	0.202	2.77	0.202
PROMEDIO	0.618	0.533	0.229	4.330	0.425
MÁXIMO	0.949	1.704	0.833	10.23	0.311
MINIMO	0.134	0.040	0.082	0.350	0.202
DESV.ESTD.	0.322	0.366	0.044	2.748	0.539

Cuadro No. 11 CONCENTRACIÓN EN PESO HÚMEDO DE ELEMENTOS PESADOS EN MÚSCULO (ppm).

No. MUESTRA	COBRE	ZINC	NIQUEL	PLOMO	CADMIO
1	0.969	1.307	0.120	2.050	0.208
2	0.706	1.161	0.022	2.350	0.233
3	0.675	0.803	0.011	2.430	0.239
4	0.671	0.966	0.024	2.650	0.249
5	0.834	0.704	0.138	2.410	0.237
6	0.666	0.687	0.186	2.380	0.238
7	0.666	0.687	0.126	2.580	0.375
8	0.446	0.575	0.070	2.030	0.251
9	0.745	0.584	0.083	2.550	0.212
10	0.737	0.981	0.088	2.680	0.213
11	0.700	0.655	0.085	2.540	0.207
12	0.699	0.644	0.080	2.480	0.213
13	0.723	0.647	0.060	2.540	0.207
14	0.680	0.622	0.133	2.510	0.211
15	0.715	0.409	0.095	2.830	0.459
16	0.729	0.760	0.069	2.700	0.765
17	0.737	0.832	0.032	2.580	0.955
18	0.769	0.703	0.039	1.970	0.271
19	0.771	0.771	0.071	2.350	0.238
20	0.774	0.231	0.034	2.710	0.207
21	0.793	0.626	0.050	2.630	0.217
22	0.772	0.645	0.029	2.240	0.173
23	0.742	0.849	0.050	2.330	0.134
24	0.712	0.907	0.105	2.300	0.209
25	0.723	0.650	0.138	2.080	0.242
26	0.726	0.879	0.130	2.360	0.279
27	0.512	0.775	0.134	3.210	0.230
28	0.728	0.676	0.134	2.220	0.247
29	0.740	0.302	0.125	2.730	0.279
30	0.364	0.676	0.148	2.38	0.231
PROMEDIO	0.703	0.723	0.084	2.460	0.280
MÁXIMO	0.969	1.307	0.186	3.210	0.955
MÍNIMO	0.364	0.231	0.011	1.970	0.134
DESV.ESTD.	0.145	0.297	0.054	0.262	0.1944

10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- **Cu.** Comparando los contenidos de Cu en diferentes órganos, se encontró que el músculo es la estructura de mayor bioacumulación de éste elemento (0.703 ppm), le sigue branquias y son las vísceras el órgano con más baja concentración promedio 0.563 ppm (Cuadro 12).

Atendiendo a los niveles permisibles reportados por (Kapauan, *et al.*, 1979 citado por Andaya y Gotopeng, 1982) para la Tilapia (0.970 ppm), nuestros resultados indican que en los organismos se encontraron valores promedio de 0.563 ppm en vísceras, tienen niveles dentro del límite permisible para este elemento en branquias (0.618) y 0.703 ppm en músculo. Las concentraciones de este elemento no representan un peligro para la salud humana en caso de consumirse a esta especie

Además el cobre es un elemento cuya toxicidad se reporta por (Rodier, 1991) como relativamente pequeña, sin embargo, su ingesta excesiva es venenosa para el hombre y desde dosis bajas de sulfato de cobre producen vómito (Muller, 1988) y a mayor dosis puede producir úlcera e ictericia, supresión de la orina y molestia del tracto gastrointestinal (Bonis, 1994), con base en los resultados obtenido en este estudio, estos organismos pueden consumirse sin ningún problema, sobre todo considerando que el cuerpo humano, contiene de 100 y 150 mg distribuidos en todos los tejidos (Muller, 1988; Sánchez, 1989).

Cuadro No. 12 CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE LOS ELEMENTOS METÁLICOS CONTAMINANTES EN LOS ÓRGANOS DE *Tilapia nilotica* (ppm).

ÓRGANO	COBRE	ZINC	NIQUEL	PLOMO	CADMIO
VÍSCERAS	0.563	1.156	0.165	2.840	0.486
BRANQUIAS	0.618	0.533	0.229	4.330	0.425
MÚSCULO	0.703	0.723	0.084	2.460	0.280

Cuadro No. 13 ORDEN EN EL QUE SE PRESENTAN LOS CINCO ELEMENTOS METÁLICOS EN LOS ÓRGANOS (ppm).

No.ORDEN	VÍSCERAS	BRANQUIAS	MÚSCULO
1	PLOMO (2.840)	PLOMO (4.330)	PLOMO (2.460)
2	ZINC (1.156)	COBRE (0.618)	ZINC (0.723)
3	COBRE (0.563)	ZINC (0.533)	COBRE (0.703)
4	CADMIO (0.486)	CADMIO (0.425)	CADMIO (0.280)
5	NÍQUEL (0.165)	NÍQUEL (0.229)	NÍQUEL (0.084)

- **Ni.** El níquel está en niveles más altos en las branquias de los peces y más bajo en el tejido muscular 0.084 ppm. Cabe señalar que para éste elemento no se encontró ningún dato bibliográfico que permita establecer una comparación cuantitativa con los niveles normales para peces, sin embargo, los consideramos dentro de los límites normales en nuestro estudio, variando en músculo desde aproximadamente 0.011 y hasta 0.186 ppm. El níquel es relativamente no tóxico y se dice que la contaminación de alimentos por éste elemento no representa un peligro serio para la salud por su baja absorción a través del intestino. Sin embargo, se ha asociado a la dermatitis y neoplasia en el tracto respiratorio; así mismo se reporta que es un cancerígeno pulmonar en fumadores de tabaco (Underwood, 1977).
- **Zn.** Para el zinc se presenta el siguiente comportamiento: las vísceras son los órganos de mayor bioacumulación para éste elemento alcanzando niveles de 1.156 ppm y las bránquias el de más baja concentración (0.533 ppm). Cabe señalar que los niveles de concentración para éstos elementos están muy por debajo de las concentraciones reportadas en la literatura para peces y para ésta especie en particular Cu= 0.970; Zn = 8.370 ppm (Kapauan, *et al.*, 1979 citado por Andaya y Gotopeng, 1982).

En el presente estudio se encontraron niveles promedio de concentración en vísceras de 1.156 - 0.533 en branquias y 0.723 para el músculo (Cuadro 9, 10 y 11), es decir, bajos. Este elemento es relativamente no tóxico en humanos y se exhibe buena tolerancia a altas ingestiones, el cuerpo humano contiene entre 1 y 2 mg por cada 70 Kg de peso corporal (Sánchez, 1989; Muller, 1988), éste micronutriente es esencial y participa activamente en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas, además de su acción en la síntesis y descomposición de DNA (Bloomfield, 1993).

- **Cd.** El cadmio presenta un comportamiento bastante homogéneo en cuanto a su concentración encontrada para los diferentes órganos de *Tilapia nilotica*, variando desde 0.226 a 0.767 ppm en vísceras, mientras que en branquias el intervalo fue de 0.202 hasta un valor máximo de 0.311 ppm (Cuadros 9 y 10). En músculo Cuadro 11, los niveles oscilan desde 0.134 hasta 0.955 ppm. La literatura reporta para este elemento niveles de concentración en *Tilapia nilotica* de 0.009 ppm (Kapauan, *et al.*, 1979 citado por Andaya y Gotopeng, 1982). Nuestros resultados indican concentraciones como se ha mencionado anteriormente que oscilan desde 0.134 hasta 0.955 ppm en músculo, que dicho sea de paso es el tejido que más importa por ser el directamente consumido por el ser humano, los otros dos órganos presentaron valores intermedios. En el 100% de las lecturas realizadas, se obtuvo un valor cuantitativo mayor a 0.009 ppm, es decir, por encima de este valor normal.

De acuerdo con la NOM-129-SSA1-1995, en la que se reporta como límite máximo permisible de concentración de cadmio 0.5 ppm en peces, el 15.5 %

de las lecturas analizadas excede este límite, siendo las vísceras el sitio de mayor acumulación.

Cuadro No. 14 RELACIÓN DE PESO Y TALLA DE LOS ORGANISMOS DE *Tilapia nilotica*

INDIVIDUO	TAMAÑO (cm)	PESO DEL ORGANISMO (g)
1	22.00	231.33
2	22.53	223.61
3	22.50	223.84
4	22.80	265.20
5	22.50	261.42
6	23.00	229.05
7	23.63	250.46
8	25.00	290.05
9	22.00	229.70
10	22.00	215.60
11	24.50	252.58
12	23.50	248.56
13	23.50	249.04
14	26.50	368.50
15	22.50	260.83
16	24.00	260.83
17	22.50	223.30
18	23.00	267.11
19	28.50	430.00
20	26.00	368.80
21	24.50	346.20
22	22.80	226.85
23	22.48	261.14
24	22.86	226.93
25	22.15	219.89
26	23.66	274.87
27	23.06	267.82
28	23.00	228.93
29	26.54	286.02
30	24.50	225.99

Es importante aclarar que el término lectura corresponde a un órgano no a un individuo. De los 30 organismos estudiados, 12 están contaminados por

Cd en alguno de sus órganos, es decir, el 40.00 % excede los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-129-SSA1-1995.

El cadmio en el ser humano se absorbe a partir de los alimentos de un 3 a 8 % de la concentración total ingerida. Por otra parte su excreción es lenta tan solo 0.01 % diariamente a través de la orina. Se absorbe mejor al ser inhalado (10-40 %) que ingerido. Este se distribuye de los pulmones a los tejidos acumulándose en el hígado y riñones (Underwood, 1977).

De acuerdo con lo anterior, la ingestión de pescado obtenido de la presa Vicente Aguirre, dados los niveles de concentración encontrados en los organismos, es probable que quienes lo consuman presenten alguno de los siguientes síntomas: efisema que a su vez es causante de la anemia en todas las especies por su antagonismo con el cobre y el hierro (Underwood, 1977), vómito, diarrea, colitis (Duffus, 1983; Albert, 1995; García, 1991)

El cadmio presenta un comportamiento heterogéneo en cuanto a su concentración encontrada en los diferentes órganos de *Tilapia nilotica* (Cuadros 9, 10 y 11), de hecho de acuerdo con el análisis de varianza el cadmio presenta una distribución heterogénea en todo el organismo pues existe diferencia significativa entre las medias para los organismos analizados, También la P de significancia es menor que 0.05, por lo cual se asume que las medias para cada órgano son diferentes (Cuadro 15).

- **Pb.** Es un metal pesado que se distribuye uniformemente en el tejido muscular del organismo, sin embargo, se encontraron los mayores niveles en branquias (0.35-10.23 ppm). La bioacumulación de Pb en músculo osciló desde aproximadamente 1.97 hasta un valor máximo de 3.21 ppm. De acuerdo con la NOM-129-SSA1 (1995) y Kapauan, *et al.* 1979 citado por Andaya y Gotopeng (1982), los niveles de concentración registrados en las Tilapias de la presa Vicente Aguirre, están por encima de los niveles permisibles (Cuadro 9, 10 y 11). Pude observarse que el 100 % de los organismos está contaminado por este elemento.

Dados los niveles normales de 0.05 ppm de Pb en el ser humano aceptados por la World Health Organization (1972) y con base en los mecanismos fisiológicos por los cuales se elimina, así como considerando que este elemento produce anemia, náuseas, dolor abdominal y degradación del tejido en el sistema nervioso central, especialmente en niños (Duffus, 1983; Barberá, *et al.*, 1990) y atendiendo a los niveles de concentración obtenidos para Pb en *Tilapia nilotica* cultivada en la presa Vicente Aguirre, no se recomienda su consumo como fuente de alimento para la población.

En el Cuadro 13, se presenta en forma resumida el orden en el que aparecen los 5 elementos metálicos estudiados para cada uno de los órganos, puede

observarse que el plomo ocupa para los diferentes órganos el primer lugar en concentración y el cadmio para los diferentes órganos ocupa el cuarto lugar, éstos dos elementos son los más tóxicos. Aún cuando el cadmio ocupa el cuarto lugar, sus niveles de concentración son altos con respecto a los niveles máximos permisibles 0.5 ppm de acuerdo con NOM-129-SSA1-1995 y 0.009 ppm (Kapauan, *et al.*, 1979 citado por Andaya y Gotopeng, 1982).

Resumiendo los metales pesados Pb y Cd estudiados, se encuentran muy elevados con respecto a los niveles de concentración reportados en la literatura incluyendo la NOM-129-SSA1-1995 que comparativamente es mas flexible que la normatividad de otros países por lo que no se recomienda el consumo de estos organismos. Los otros tres elementos (Cu, Ni y Zn) se encuentran dentro de los límites permisibles.

Cuadro No. 15 ANÁLISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY PARA LA MEDIA DE LOS METALES PESADOS EN LOS TRES ÓRGANOS DE *Tilapia nilotica*

donde si $F_{cal} > P_{de\ significancia}$ entonces se rechaza H_0

Número de observaciones = 90

Nivel = 3

Valores = b m v

ELEMENTO	v*	b*	m*	F cal	Valor de P	DECISIÓN	PRUEBA DE TUKEY
Cu	0.5232	0.6191	0.7078	11.43	0.000	Se rechaza H_0	$V \neq B = M$
Zn	1.2404	1.3813	0.7147	1.000	0.000	Se rechaza H_0	$V \neq B \neq M$
Ni	0.1656	0.1078	1.3269	0.920	0.000	Se rechaza H_0	$V = B \neq M$
Pb	9.1415	23.374	5.2161	1.300	0.270	Se acepta H_0	$V = B = M$
Cd	0.4705	0.2591	0.2821	20.24	0.000	Se rechaza H_0	$V \neq B \neq M$

*concentración media de metales pesados en (v) vísceras, (b) branquias y (m) músculo

Se realiza un análisis de varianza con $\alpha = 0.05$ con un límite de confianza del 95%, para determinar si existe diferencia significativa entre las concentraciones de los metales pesados (Cu, Zn, Ni, Pb, y Cd), en peces en los diferentes órganos branquias (b), músculo (m) y vísceras (v).

$H_0 = \mu_{Cu(b)} = \mu_{Cu(m)} = \mu_{Cu(v)}$

$H_a =$ Al menos un par es diferente

$H_0 = \mu_{Zn(b)} = \mu_{Zn(m)} = \mu_{Zn(v)}$
 $H_a =$ Al menos un par es diferente

$H_0 = \mu_{Ni(b)} = \mu_{Ni(m)} = \mu_{Ni(v)}$
 $H_a =$ Al menos un par es diferente

$H_0 = \mu_{Pb(b)} = \mu_{Pb(m)} = \mu_{Pb(v)}$
 $H_a =$ Al menos un par es diferente

$H_0 = \mu_{Cd(b)} = \mu_{Cd(m)} = \mu_{Cd(v)}$
 $H_a =$ Al menos un par es diferente

El criterio de aceptación o de rechazo de la hipótesis nula fue el siguiente:

Si la significación de P es menor a 0.05 se rechaza H_0 , en caso contrario no se rechaza y por lo tanto se asume que las concentraciones son iguales, en branquias, músculo y vísceras, en cada uno de los elementos analizados.

Para el Cu, se presentó una significancia ($p < 0.05$), en la concentración de este elemento en los tres órganos, lo cual indica que el Cu se acumula diferencialmente en los órganos de los individuos mencionados. Se encontró que el músculo es el órgano final de acumulación, puede observarse que alcanza la mayor concentración (0.703 ppm), por lo tanto, se atribuye que las dos vías de entrada son: vía digestiva a través de vísceras y la otra por respiración a través de las branquias.

En el Zn, se observa una alta diferencia significativa en la concentración de este elemento en los tres órganos ($p < 0.05$), lo cual significa que el Zn se acumula diferencialmente en los órganos de los peces. Observándose que tiende a acumularse más en vísceras (1.156 ppm), en menor cantidad en músculo (0.723 ppm) y aun más bajas concentraciones se bioacumulan en bránquias (0.533 ppm).

Para el caso del Ni, se encontró que branquias y vísceras bioacumulan a este metal muy poco y entre ellos no existen diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey practicada. Se encontró que este elemento se acumula en músculo, órgano en el cual alcanzó concentraciones de 0.229 ppm. Este órgano difiere significativamente en sus concentraciones respecto a bránquias y músculo de acuerdo con la prueba de Tukey, mientras que al considerar el análisis de varianza se rechaza la hipótesis nula en el sentido de que los tres órganos tengan la misma capacidad de acumular este metal.

En el caso del Pb, de acuerdo con el análisis de varianza y la prueba de Tukey realizada para este metal en los tres órganos analizados no hay diferencia en su bioacumulación, mas bien el Pb tiende a distribuirse uniformemente en todo

el organismo, cabe mencionar que este fue el metal pesado tóxico con más altos niveles en el organismo.

Finalmente el Cd, resultó con base en el análisis estadístico que se realizó ser un metal que se distribuye diferencialmente en los tres órganos analizados encontrándose que las vísceras tienden a bioacumularlo en mayor grado que el músculo y este mas que branquias. En el órgano de mayor acumulación se alcanzan concentraciones de hasta 0.486 ppm

11. CONCLUSIONES

- El pH, temperatura, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto registrados caen dentro de los límites permisibles de acuerdo a (NOM-CCA-032-ECOL-1993) y dentro del intervalo óptimo o muy cercano para el crecimiento de *Tilapia nilotica*.
- En general la concentración de los metales pesados Cu, Ni, Zn, Cd y Pb en el agua, están dentro de los límites recomendados, tanto para la explotación pesquera, como para el riego agrícola.
- El Cadmio en el agua presentó una variación significativa, pero aún así, su concentración es aceptable para el ejercicio de la acuicultura, pues no excede a las concentraciones normales de 0.10 a 0.20 ppm reportados en la literatura.
- No se encontró relación del peso y longitud corporal del organismo con los niveles de concentración de metales pesados en sus órganos y tejido muscular.
- Al comparar los niveles de Cobre en los tres órganos de *Tilapia nilotica*, se observó una mayor acumulación de este metal en el músculo.
- En los organismos estudiados, el Zinc tienden a bioacumularse en vísceras, mientras que el níquel lo hace en branquias.
- De los metales analizados, el plomo es el más concentrado en el organismo de *Tilapia nilotica* y se distribuye más uniformemente, sin embargo las concentraciones más altas se registraron en las branquias.
- El Cadmio presenta un comportamiento muy variable, sin embargo, en el presente estudio se encontró que en esta especie tiende a concentrarse en vísceras, seguido de branquias.
- De forma general se encontraron niveles de concentración altos de Pb y Cd, en todos los órganos estudiados, pues todos ellos rebasan los límites permisibles reportados en la literatura para estos elementos tóxicos, por consiguiente, no se recomienda el consumo de *Tilapia nilotica* cultivada en ese cuerpo acuático como fuente de alimento para el ser humano.

12. SUGERENCIAS.

Se considera necesario monitorear periódicamente a los peces de esta presa, a fin de establecer criterios más amplios, sobre la acumulación de éstos y otros elementos contaminantes en la especie estudiada, así como en otras existentes en este cuerpo acuático. Desde luego el seguimiento debe incluir los efectos sobre la salud en el ser humano.

Se propone llevar a cabo un estudio, para saber cuál es el consumo *per cápita* de producto pesquero en ese lugar. En él, debe incluirse las actividades socioeconómicas que desempeña la persona, así como el cuadro clínico que presenta la población consumidora de *Tilapia nilotica*.

Sería muy pertinente cuantificar los niveles de concentración de los metales pesados disueltos y ligados a las distintas fracciones de los sedimentos.

13. BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilera, L. 1995. Evaluación del contenido de algunos metales pesados en once bancos ostrícolas en la laguna de San Andrés, Tamaulipas, México. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza-UNAM. México. 67 pp.
- Albert, A. 1995. Curso Básico de Toxicología Ambiental. 2a. Ed. Noriega Editores. México. p.101-183.
- Andaya, A., y Gotopeng, U. 1982. Cadmium toxicity and uptake in *Tilapia nilotica*. Kalikasan, Philipp. *J. Biol.* **11** : (2-3) 309-318.
- APHA-AW WA-WPCE. 1989. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Capítulo 3. Ed. Días de Santos S. D. 7-11.
- Barberá, R., Farré, R., Roig, M.J. 1990. Evaluación de un Método para la Determinación de Cadmio y Plomo en Vegetales por Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama. *Anal. Bromatol.* **XLII** : 345-352.
- Bautista, F.1994. La contaminación del Suelo por Metales Pesados: Reflexiones sobre Análisis Químico. Universidad Ciencia y Tecnología. **3**: 24-32.
- Bebiano, M.J. y Langston. 1991. Metallothionein induction in *Mytilus edulis* exposed to cadmium. *Marine Biology.* **108**: 289-309.
- Beltran, K. 1991. Farmacología Básica y Clínica. 4a Ed., El Manual Moderno, S.A. México. 744 pp.
- Berman, E., 1980. Toxic metals and their analysis. De. L.C. Thomas, London Heyden. 293 pp.
- Bloomfield, M. 1993. Química de los organismos vivos. Ed. Limusa. México. p. 499-504, 513-515.
- Bojalil, C. y Hernández, C. 1982. Estudio del mercado de los productos piscícolas alimenticios en el estado de México. Tesis de licenciatura. UNAM. p. 12-27.
- Bonis. A. 1994. El Papel del Magnesio, Cobre y Cinc en el Deporte. *Alimentaria: Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos.* **251** : 41-50.
- Bourges, H. 1985. Nutrimientos Orgánicos. (2a. parte) Cuadernos de nutrición **8** : (2) 33-42.

Bouquegneau, J. M. y Gilles, 1979. Osmoregulation and pollution of aquatic medium; *In* : R. Gilles (De), *Metabolismo of Osmoregulation in Animals*, Elsevier, New York. p. 563-580.

Bramley, R.G.V. 1990. Cadmium in New Zeland Agriculture. *N. Z. Agri. Res.* 33 : 505-519.

Bryan, G. W. 1973. The occurrence and seasonal variation of trace metals in the scallops *Pecten maximus* (L) and *Chlamys opercularis* (L). *Journal of Marine Biological Association.* 53: 145-166. Citado por Páez en 1996.

Buenrostro, G. 1995. Evaluación de los niveles de concentración de elementos constituyentes y contaminantes en diferentes especies hortícolas con flor y fruto en el municipio de Ixmiquilpan, Hgo. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM, México. 98 pp.

Cabrera, M. 1981. Evaluación de metales pesados en cuatro lagunas del Golfo de México en las que se realiza explotación ostrícola. Tesis de licenciatura, UNAM. 68 pp.

Carson. B.L. y Ellis H.V. 1986. *Toxicology and Biological Monitoring of Metal in Humans.* Lewis Published. USA. 328 pp.

Colli, M. 1990. Remoción de metales y otros Compuestos en un tipo de Suelo del D.R. 03 Hidalgo. Memoria del Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Inst. Geología. UNAM. p. 50-51.

Comisión Nacional del Agua. 1990. Características de los Distritos de Riego Agrícola. Subdirección General de Infraestructura Hidroagícola. Gerencia de Distrito de Riego. p. 691.

Cortés, J. y Herrera, R. 1995. Plan de Desarrollo Urbano y Arquitectónico en Ixmiquilpan, Hgo. Tesis de licenciatura. UNAM. p. 12-18.

Dabeka, W.R. y Mc Kenzie D. A. 1992. Graphite-Furnance Atomic Spectrometric Dermination and Survey of Total Aluminium, Copper, Manganese, Molybdenum and Tin in Infant Formulas and Evaporated Milks. *Journal of AOAC International.* 75 : 954-963.

Davies, P. H. ; Goettl, J. P.; Sinley y Smith, N. F. 1976. Acute and chronic toxicity of lead to rainbow trout, *Salmo gairdneri* in hard and soft water. *Water Research.* 10: 199-206. Citado por Páez en 1996.

Duffus, H. 1983. *Toxicología ambiental.* Ed. Omega. Barcelona, España. 24-94 pp.

Eichhorn, G. L. 1973. Complexes of polynucleotides on nucluc acids *In*: G.L. Eichhorn (Ed). Inorganig Chemistry. Vol. 2 Elsevier Scientific Amsterdam. p 1210-1245. Citado por Páez en 1996.

Enciclopedia de la alimentación de la dietética. 1979. Ed. Argos Vergara. Tomo II. Barcelona España. p. 274- 288.

Fergusson, J. E. 1990. The heavy elements Chemistry, enviromental impact and health effects. Pergamen Press Usa. 614 pp.

Fildardo, S. 1994. Cuantificación de Cadmio y Plomo en Leche Bronca de 9 Municipios del Estado de Hidalgo, en donde se utilizan aguas Residuales para regar los forrajes. *Rev. Soc. Quím. Méx.* **38**:117-128.

Fondepesca. 1988. Secretaría de Pesca p.17-18.

Fragoso, V. S. y Páez, O. F. 1996. Niveles de Metales. en el Golfo de México: Agua, Sedimentos y Organismos. En: El Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Botello, *et al.*, . Editores: p. 309-347.

García, P. 1991. Aspectos Toxicológicos de las Aguas. *Anal. Bromatol.* **XLIII 213**: 239-255.

García, P.; Torija, I. y Orzáez, V. 1991. Estudio de las aguas del río Adaja: Microelementos. *Anal. Bromatol.* **XLIII-1** 1-16.

García, P. 1990. Influencia de la zona de Pastoreo sobre el Contenido de Níquel en la leche de Vaca. *Alimentaria.* **10** : 33-35.

García, Z.; Cruz, D. y Cajuste, L. 1989. Estudio del grado de contaminación por Pb, Cd y Cr en suelos y Tejidos vegetales de Tlaxcoapan, Tlahuelilpan y Atitalaquia, Hidalgo. Memorias del 1er. Simposio Nacional de Degradación del Suelo. *Inst. Geol.* p. 48-49.

Gerlach, S. A., 1981. Marine Pollution. Dianosis and Tetapy Springer- Verlag. Berlin Heidelberg. Citado por Fragoso y Páez en 1996.

Gómez, E. 1995. Evaluación de los niveles de elementos constituyentes y contaminantes en leche (Bronca) de vaca del municipio de Ixmiquilpan Hidalgo. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza, UNAM. 61 pp.

Goodman, L. y Gilman, A. 1994. Las bases farmacológicas de la terapéutica. 8a Ed. Interamericana. México p.1537-1549.

Grande, M. 1996. Determinación de Cu, Zn, Fe, Mg, Ca, Na, K, Pb, Cr y Ni en plantas comestibles y forrajeras de Ixmiquilpan, Hgo. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza. UNAM. 80 pp.

Gutiérrez, G. 1982. Comentarios sobre el metabolismo de metales pesados en organismos marinos. Ciencias Marinas. (Méx.). V 8 (1). p135-138.

Hawley. 1993. Diccionario de química y productos químicos. Ed. Omega, S. A. Barcelona España. 1170 pp.

Hellawell, J. M; 1989. Biological Indicators of Freshwater. Pollution and Environmental Management. Elsevier Applied Science, Lodon, 546 pp. Citado por Páez en 1996.

Henningan, R.D., 1973. La Contaminación del agua. Strobbe, M.A. (De). Origenes y control de la contaminación ambiental. CECSA. México. D.F. 326 pp.

Henrich, L. B., 1993. Química del Suelo. Editorial Limusa Noriega. México. p. 19-25.

Hernández, C. y Chapa F. 1996. Tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. Ed. Internacional. México p. 330.

Hicks, E. A. 1976. Variación estacional en la concentración de elementos metálicos en ostiones de la laguna de Términos, Campeche, México. Tesis Profesional. Fac. de Química. Univ. Nal. Autón. México, México. Citado por Frago y Páez en 1996.

INEGI. 2000. Censos de Población y Vivienda. Estados Unidos Mexicanos resultados preliminares.

INEGI. 2000. Cuaderno Estadístico Municipal Alfajayucan Estado de Hidalgo. p. 115.

Jenkis, D. 1983. Química del agua. Manual de Laboratorio. De. Limusa. México D.F. 178 pp.

Johnson, L. 1979. Introductory soil science. De. Macmillan Publishing., Inc..New York. 289 pp.

Lagler, F.K., Bardach E. J., Miller R. R. y Passino M. D. R. 1990. Ictiología. AGT Editorr, S.A. México. p. 1-7.

Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 2004. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Diario Oficial de la Federación del Jueves 28 de Enero p 23 –47.

Los Municipios de Hidalgo. 1988. Colección: Enciclopedia de los Municipios de México. Secretaría de Gobernación. 1a. Ed. p. 33-35.

López A. D .1987. La Salud Ambiental de México. De. Universo VEINTIUNO, México p. 35,74-87,167-170.

Ludorff, W. y Meyer V. 1978. El pescado y los productos de la pesca. Editorial Acribia. Zaragoza (España). p.342.

Maca, B. N. y Silverio. C. R.1997. Análisis proximal y evaluación de los niveles de metales constituyentes y contaminantes en hortalizas provenientes del municipio de Ixmiquilpan, Hgo. Tesis de licenciatura, FES Zaragoza UNAM. p. 109.

Macfarlane, G. A. y Franzin, W. G.1980. An examination of Cd, Cu, and concentration in livers of northern pike. *Essox lucius* and white sucker, *Catostomus commersoni* the five lakes near a base metals smelter at flin Manitoba . Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **37**: 1573-1578. Citado por Fragozo y Páez en 1996.

Maples, V.M. 1990. Antecedentes Físicos, Históricos y Socioeconómicos del Distrito de Desarrollo Rural 063, Estado de Hidalgo. Primer Simposio Nacional de Degradación del Suelo. Inst. Geología. UNAM. pp. 38-39.

Mejía, M. ; Sánchez, S. ; Hernández, G. ;Flores, L.; Villarreal, G.; Guajardo, R. 1990. Metales pesados en maíz y alfalfa y su correlación con los extractables en suelos del DDR 063. Hgo. Memorias del 1er. Simposio Nacional de la Degradación de los Suelos. Inst. Geol., UNAM . p. 42-43.

Molina, B.J. y Zúñiga, Ch. M. 1979. Plomo: sus implicaciones siciales y efectos sobre la salud. *Gaceta Médica de México*. **115** : (2) 57-64.

Morales. D. 1974. Cultivo de Tilapia en México. Doc. No. 1. México. 25 PP.

Morales, D. 1991. La Tilapia en México. AGT Editor S.A. México, D.F. 190 PP.

Muller, H. G. 1988. Nutrición y Cincia de los Alimentos. Acribia Zaragoza. p 42-46.

Norma Mexicana. NOM-AA-51. 1981. Análisis de agua-Determinación de Metales-Método Espectrofotométrico de Absorción Atómica. DOF, 22 de febrero de 1982.

Norma Mexicana. NOM-AA-003. 1980. Aguas residuales-Muestreo. DOF, 25 de Marzo de 1980.

Norma Mexicana. NOM-129-SSA1-1995. Productos de la Pesca. Disposiciones y Especificaciones Sanitarias.

Norma Oficial Mexicana. NOM-CCA-032-ECOL. 1993. Límites máximos permisibles de contaminantes en las aguas residuales de origen urbano o municipal para su disposición mediante riego agrícola. DOF, 18 de octubre de 1993.

Norma Oficial Mexicana. NOM-001-ECOL. 1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. DOF, 6 de Enero de 1997.

Norseth, T. 1979. Health effects of niquel and cadmium. En: Trace metals. Exposure and health effects. Proceedings of Guilford. United Kingdom. Ed. Elvira di Ferrante Pergamon Press, Great Britain.

Organización Mundial de la Salud. 1971. Serie de Informes Técnicos No. 453. Ginebra. 22-28 Abril. p 13-17.

Páez, O. F. 1996. Efecto de los Metales. En: El Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. Botello, *et al.*, . Editores: p. 349-361.

Parada, E.; Velasco, O. y Avila, M. 1975. Determinación del contenido de plomo en alimentos enlatados. *Rev. Tech. Aliment.* 10 : (4) 170-173.

Pavicic, J., M. Skreblin, B. Raspor, M. Branica, M. Tusek-Znidric, Y. Kregar, y P. Stegnar. 1987. Metal pollution assesment of the marine environment by determination of metal-binding proteins in *Mytilus sp* .*Marine Chemistry.* 22: 235-248. Citado por Páez en 1996.

PEMEX. 1986. Evaluación de hidrocarburos y metales pesados. Costa occidental de la Península de Baja California 1983-1984. GPTA-E. Subdirección de Planeación Coordinación y Control de Protección Ambiental. México, D.F. 149 pp.

Petkova S.V. y Vargas H. J. 1992. Manual de aguas y saneamiento. 1a. versión (inédito) I.M.T.A., Jiutepec, Mor., México.

Quadri, G. 1989. Aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Impactos y perspectivas. Departamento del Distrito Federal. 137 pp.

Rigola, M., 1989. Tratamiento de aguas Industriales. Aguas de proceso y residuales. Ed. Marcombo. Barcelona. p.13-38.

Roch, M. y E. J. Maly. 1979. Relationship of calcium-induced hypocalcemia with mortality in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) and three influence of temperature on toxicity. *Journal Fish Research Board Canadian*. **36**: 1297-1303. Citado por Páez en 1996.

Rodier, J. 1991. Análisis de las aguas. Ed. Omega S.A. Barcelona 1059 pp.

Rosas, M., M. 1988. Biología acuática y piscícola en México. Secretaría de Pesca. 379 pp.

Rossell, B. y Larena, A. 1988. Química General. Mc Graw-Hill. México. p. 475-481 y 542-547.

Russell, E.T., 1979. Quality Criteria for Water. Castle House Publications LTD. Lourdes. 256 pp.

Sánchez, M. C. 1989. Vida y Nutrición. Siglo XXI Editores. México. p 46-50.

Santiago, L. y Jardon, O. 1997. Determinación de la edad, crecimiento y hábitos alimenticios, de 4 especies de cíclidos de importancia pesquera en la presa "Cerro de Oro" Tuxtepec Oaxaca. Tesis de licenciatura, F.E.S. Zaragoza. UNAM. 68 pp.

SCEP.1976. La influencia del hombre en el medio global. Fondo de la Cultura Económica. México, D.F. 317 pp.

Secretaría de Pesca. 1982. Manual técnico para el cultivo de Tilapia. Doc. Núm. 3. 122 pp.

Secretaría de Pesca. 1986. Nutrición y pescado. 1a. de México. 145 pp.

Secretaría de Pesca. 1994. Cultivo de Tilapia. México 46 pp.

Secretaría de Pesca. 1988. Manual técnico para el cultivo de Tilapia en los centros acuícolas de la Secretaría de Pesca. 1a. de México. 202 pp.

Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1972. Presas Mexicanas. México 27 pp.

Shibamoto, T. 1980. Heterocyclic Compounds Found in cooker meats. *J. Agric. Food Chemical*. **28** : (2) 237.

Skoog, A. y West, D. 1984. Análisis instrumental. Ed. Interamericana. México. p.316-348.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sanitaria. 1980. Departamento de Distrito Federal. División de Estudios de Posgrado. Simposio de Aprovechamiento de Aguas Residuales. Fac. de Ingeniería. p. 43.

Taylor, D. 1981 b. A summary of the data on the toxicity of various materials to aquatic life. Part. 10. Lead Brixham Lab. Rep. BL/A/2126. ICI PLC

Taylor, D. 1981 c. A summary of the data on the toxicity of various materials to aquatic life. Part. 13. Zinc Brixham Lab. Rep. BL/A/2143. ICI PLC.

Taylor, D., B. G. Maddock y Marce, 1985. The acute toxicity of nine grey list metals (arsenic, boron, chromium, copper, lead, nickel, tin, vanadium and zinc) to two marine fish species: Dab (*Limanda limanda*) and grey mullet (*Chelon labrosus*). *Aquatic Toxicity*, 7 : 135-144

Torán, A. 1987. Níquel. *Alimentaria* p 51-54.

Underwood, E. J. 1977. Trace Elements in Humans and Animal Nutrition. Fourth Edition; Academic Press. New York. p 13-268.

Underwood, E. J. 1983. Los Minerales en Nutrición del Ganado. 2a. edición. Editorial Acribia. Zaragoza España, p. 1-85, 92-126, 165-180.

Valkovic, V. 1980. Analysis of biological material for trace elements using X-ray Spectroscopy. Ed. Vladovalcovic. Fla. CRC. Press.

Viarengo, A.M., 1985. Biochemical effects of trace metal. *Marine Pollution Bulletin*. 16: 153-158. Citado por Páez en 1996.

Wagner, R. H., 1974. *Environment and Man*. W. W. Norton and Company Inc. New York 528 pp.

Willard, H.; Merrit, L.; Dean, A. y Settle, A. 1991. Métodos instrumentales de análisis. Ed. Grupo Editorial Iberoamericano. México. p.219-243.

World Health Organization, 1972. Evaluation of mercury, lead, cadmium and octylgallate. Who good additives series. Geneva. Italy.