

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**ESTUDIO DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN AGUAS Y PECES DEL EMBALSE
SUATA – EDO. ARAGUA.**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de
Venezuela, por el Br. Raimundo
J. Aru M., para optar al título de
Licenciado en Química

TUTORA: DRA. MARÍA A. ALVAREZ.

CARACAS, OCTUBRE DEL 2008

Los abajo firmantes designados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: **“Estudio del contenido de metales pesados en agua y peces del Embalse Suata – Edo. Aragua”**. Presentado por el Br. Raimundo José Aru Montes, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios, para optar al título de Licenciado en Química, Opción Tecnología

Dra. María de los Ángeles Álvarez
(Tutor)

Dr. José Chirinos
(Jurado)

Dr. Ramón Montero
(Jurado)

RESUMEN

En este trabajo se determinó la concentración de metales pesados en muestras de agua, tejido e hígado de peces, dichas muestras fueron recolectadas en el embalse Suata, con el objeto de aportar información sobre el estado ambiental de este embalse.

El muestreo fue realizado mensualmente, durante los meses de noviembre 2007 y abril 2008, por el Laboratorio de Limnología del Instituto de Biología Experimental de la Fac. de Ciencias, UCV. Las muestras de agua fueron recolectadas en dos estaciones del embalse, donde adicionalmente, se midieron los parámetros temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto. Una vez recolectadas, fueron llevadas a $\text{pH} < 2$ con ácido nítrico y refrigeradas hasta su análisis. Las muestras de tejido e hígado se obtuvieron de peces capturados durante el muestreo por pescadores de la zona. Estas muestras fueron extraídas mediante la disección de los peces, manteniéndose congeladas hasta su liofilización y posterior digestión ácida asistida con horno microondas. En total se analizaron 24 muestras de agua y 17 muestras de tejido y de hígado de peces. La determinación de los elementos Cd, Cu, Cr, Ni y Pb se realizó mediante espectrometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (ETAAS), mientras que el Hg fue determinado mediante espectrometría de absorción atómica con generación de vapor frío (CV AAS). Las metodologías de análisis empleadas fueron validadas empleando muestras certificadas apropiadas: muestra de agua TM-26, muestra de agua NIST 1441d, tejido de ostra NIST-1566b e hígado de bovino BCR-185R. Los datos obtenidos fueron tratados empleando el paquete Statgraphic version 5.0 para Windows.

El análisis de los datos mostró que la temperatura del embalse presentó cambios durante el muestreo de acuerdo a la estación climática, estación y profundidad del muestreo. La estación E1 presentó las menores temperaturas atribuibles a fuentes cercanas de entrada de agua del canal aductor y de la

quebrada El Mamón. Asimismo se observó el mezclado de las aguas y la consiguiente homogeneidad de la temperatura para el mes de febrero. El pH de las aguas y su aumento durante el muestreo indicaron que el embalse se encuentra sometido a un proceso de eutrofización como consecuencia de la concentración de nutrientes, proveniente de la actividad humana en la zona y de la disminución del volumen del cuerpo de agua producto de la época de sequía.

Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de los metales en el agua no exceden los valores máximos permitidos por el Decreto 883 y por la norma EPA para aguas dulces (fresh water) por lo que no representan un riesgo para el destino que tienen dichas aguas (riego y recreación). Igualmente, las concentraciones de los metales en las muestras de tejido de peces no alcanzaron los valores límites permitidos según las normas COVENIN 1776:1995 y 1087:1998 para atún y sardinas, respectivamente, y el Codex Alimentarius (2007) para Cd y Hg_{org}. En las muestras de hígado, las concentraciones de los metales fueron superiores a las obtenidas en el tejido de los mismos peces, mientras que la concentración de Cu fue superior que el nivel máximo permitido en tejido, según las mismas normas COVENIN. Por otra parte, se encontraron correlaciones significativas entre la concentración de Cu con la talla y peso de los peces, así como entre la concentración de los elementos Hg y Ni con la talla de los mismos, lo cual apunta a un proceso de bioacumulación.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en un análisis ambiental realizado recientemente en sedimentos provenientes del mismo embalse, recolectados durante la misma fecha, los cuales indicaron que dichos sedimentos no representan un riesgo ambiental para el cuerpo de aguas, ya que las condiciones fisicoquímicas no favorecen la liberación de los elementos intercambiables-extraíbles de los mismos.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

<i>I. INTRODUCCIÓN</i>	1
<i>II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</i>	3
2.1. Metales pesados en Aguas y tejidos de Peces.....	3
2.2. Clasificación de las Aguas de Venezuela	8
2.3. Determinación del contenido de metales pesados en aguas, tejidos de peces y otras muestras de interés ambiental	11
2.4. Estudios sobre el contenido metálico en aguas y peces del territorio venezolano	13
2.5. Estudios ambientales realizados en el Lago de Valencia y su Cuenca	18
2.6. Descripción de la Zona de Estudio	22
2.6.1. Información General.....	22
2.6.2. Información Litológica	24
<i>III. OBJETIVOS</i>	25
3.1. Objetivo General:.....	25
3.2. Objetivos Específicos:.....	25
<i>IV. PARTE EXPERIMENTAL</i>	26
4.1. Equipos.....	26
4.2. Reactivos	27
4.3. Metodología	29
4.3.1. Muestreo	29
4.3.2. Preservación	29
4.3.3. Tratamiento de las muestras.....	30
4.3.4. Validación de las metodologías y análisis de las muestras.....	36
4.4. Lugar de trabajo.....	36

<i>V. RESULTADOS Y DISCUSIONES</i>	37
5.1 Validación de las metodologías de análisis empleadas	37
5.2 Figuras de mérito obtenidas en las diferentes metodologías de análisis	38
5.2.1 Límites de detección (LOD).....	38
5.3 Análisis de las muestras recolectadas en el Embalse Suata, Edo. Aragua	39
5.3.1 Determinación de metales pesados en muestras de agua.....	39
5.4 Análisis de tejido e hígado de peces del Embalse Suata, Edo. Aragua.....	48
5.4.1 Determinación de metales pesados en muestras de tejido	48
5.4.2 Determinación de metales pesados en muestras de hígado.....	51
5.4.3 Comparación del contenido de metales obtenidos en las muestras de tejido e hígado de peces del Embalse Suata	55
5.5. Relación de los resultados obtenidos para agua y peces del Embalse Suata con los obtenidos para sedimentos de este mismo embalse.....	56
 VI. CONCLUSIONES.....	 58
 VII. RECOMENDACIONES	 60
 VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 61
 IX. APÉNDICES.....	 67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales contaminantes en el agua, efectos sobre la salud y fuentes comunes de contaminación	4
Tabla 2. Principales técnicas empleadas en el análisis de metales pesados en aguas y tejidos de peces. Ventajas y desventajas.....	5
Tabla 3. Valores máximos de consumo de ciertos elementos a partir de los cuales se consideran tóxicos y carcinógenos.....	8
Tabla 4. Clasificación de las aguas de Venezuela (Decreto 883, 1995).....	9
Tabla 5. Contenido de metales en la clasificación venezolana de las aguas Tipo 1, 2 y 4.....	10
Tabla 6. Concentraciones límite reportadas por la EPA para los elementos de interés.....	11
Tabla 7. Determinación de metales en muestras de aguas, peces y sedimentos.....	12
Tabla 8. Análisis de aguas y especies acuáticas de algunas zonas específicas del país.....	14
Tabla 9. Estudios ambientales realizados en el Lago de Valencia y su Cuenca.....	18
Tabla 10. Concentraciones encontradas de algunos metales en el Río Aragua, principal tributario del Embalse Suata.....	22

Tabla 11. Programa de digestión de las muestras de tejido e hígado de peces en el horno microondas.....	33
Tabla 12. Programa de temperaturas del horno de grafito para la determinación multielemental de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb en muestras de agua, tejido e hígado de peces.....	35
Tabla 13. Condiciones instrumentales empleadas para las medidas en ETAAS.....	35
Tabla 14. Concentraciones obtenidas y certificadas en los materiales de referencia de Agua, Tejido de ostra e Hígado de bovino.....	37
Tabla 15. Límites de detección y masas características obtenidas mediante ETAAS.....	38
Tabla 16. Concentraciones obtenidas en las muestras de agua del Embalse Suata y valores límites reportados.....	41
Tabla 17. Concentraciones de metales en tejido de peces del Embalse Suata y valores reportados en las normas COVENIN.....	50
Tabla 18. Concentraciones de los metales en hígado de peces del Embalse Suata.....	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismo de propagación del mercurio en el ambiente.....	6
Figura 2. Proceso de bioacumulación del mercurio	7
Figura 3. Usos de las tierras que conforman la Cuenca del Lago de Valencia.....	19
Figura 4. Características hidrográficas de una sección del estado Aragua.....	23
Figura 5. Espectrómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica marca <i>Perkin Elmer</i> , modelo SIMAA 6000.....	27
Figura 6. Espectrómetro de absorción atómica con generación de vapor frío, marca <i>Perkin Elmer</i> , modelo FIMS-100.....	28
Figura 7. Sitios de captación de las muestras de aguas en el Embalse Suata.....	30
Figura 8. Liofilización de las muestras de tejido e hígado de peces.....	31
Figura 9. Esquema del método a seguir para la digestión de las muestras de tejidos e hígado de peces.....	32
Figura 10. Tratamiento de las muestras de Aguas para la determinación de mercurio total por CVAAS.....	33
Figura 11. Metodología aplicada para la determinación de Hg en las muestras de agua del Embalse Suata.....	34

Figura 12. Concentraciones de Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en las muestras de agua a lo largo del muestreo.....	40
Figura 13. Dendograma obtenido para las muestras de agua del Embalse Suata.....	42
Figura 14. Correlaciones entre variables según el coeficiente de Spearman.....	42
Figura 15. Temperaturas registradas en cada una de las estaciones a las diferentes profundidades durante los meses de muestreo.....	44
Figura 16. Valores de pH registrados en las aguas del Embalse Suata.....	44
Figura 17. Variación del pH y la conductividad del agua con el muestreo.....	45
Figura 18. Crecimiento de plantas en la superficie del agua como consecuencia de la eutrofización.....	46
Figura 19. Cambios en la concentración de Hg total con el pH del agua, durante el muestreo.....	47
Figura 20. Concentraciones de Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en tejido de peces del Embalse Suata.....	49
Figura 21. Diagrama de cajas y bigotes de los datos obtenidos en las muestras de tejido de peces.....	50
Figura 22. Concentración de metales pesados determinados en muestras de hígado de peces del Embalse Suata, Edo. Aragua.....	52

Figura 23. Diagrama de cajas y bigotes de los datos obtenidos en las muestras de hígado de peces.....	53
Figura 24. Concentraciones de Cu obtenidas en hígado y su relación con el peso y la talla del pez.....	54
Figura 25. Relación de la concentración de Hg en hígado con la talla del pez.....	54
Figura 26. Relación de la concentración de Ni en hígado con la talla del pez.....	55
Figura 27. Concentración de los elementos estudiados en las muestras de tejido e hígado de peces del Embalse Suata.....	56

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación se define como la introducción de cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en el medio inicial. El término contaminación ambiental, es referido a la presencia en el ambiente de cualquier agente físico, químico o biológico, o bien de la combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivas para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos ^[1].

En años recientes se ha prestado especial atención a los problemas de contaminación ambiental ocasionados por una amplia variedad de elementos químicos, entre los cuales se incluyen los metales pesados ^[2]. La rápida industrialización, el acelerado crecimiento poblacional y las mejoras en la calidad de vida, traen consigo un aumento en el uso de estos metales. La gran cantidad de desechos generados contienen a su vez estos elementos, los cuales terminan siendo descargados en sistemas acuáticos. Es por esto, que los metales pesados son reconocidos como serios contaminantes de este tipo de ecosistemas.

Las aguas contaminadas son potencialmente peligrosas, debido al contacto constante con este medio al que los seres humanos están sometidos, bien sea para satisfacer nuestras necesidades básicas o simplemente como medio de recreación. Esto evidencia la necesidad de conocer un estimado del grado de contaminación por metales pesados presentes no solo en las aguas sino también en algunos organismos acuáticos, tales como los peces. Se ha comprobado que los alimentos del mar representan una de las principales vías de exposición de los humanos a algunos metales ^[3].

No obstante, en este trabajo, las muestras estudiadas inicialmente no contemplaban peces provenientes del mar, sino de un embalse. Sin embargo, la generalización es válida ya que igualmente podrían encontrarse presentes en un entorno contaminado y ser consumidos por humanos. La ingesta de peces contaminados con sustancias químicas puede causar cáncer, deformaciones de nacimiento, daños al hígado y otros problemas serios de salud, tal y como ocurre con el consumo de agua contaminada.

El Embalse Suata, además de ser utilizado como fuente de agua para riego, es también utilizado por algunos habitantes aledaños para la pesca, por lo que un estudio de contaminación ambiental de sus aguas y de sus peces, es de especial importancia.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. METALES PESADOS EN AGUAS Y TEJIDOS DE PECES

Las consecuencias o efectos sobre la salud que tienen los metales pesados están relacionados con la concentración o niveles en que éstos están presentes, por ello surge la necesidad de identificar cuales son las principales fuentes de contaminación de estos metales, así como también es necesario establecer un límite, a partir del cual dichos elementos se tornan nocivos. Esto es realizado con diversos fines, entre los cuales destaca limitar la presencia de estos contaminantes en determinados productos alimenticios a los niveles más bajos posibles, de manera de evitar las enfermedades asociadas a estos elementos. Existen diferentes organizaciones encargadas de realizar esta tarea, entre ellas destacan la Organización Mundial de la salud (OMS) y la Environmental Protección Agency (EPA) de los Estados Unidos, entre otras.

Algunas de las principales fuentes de contaminantes químicos de las aguas pueden ser fácilmente identificadas, tal es el caso de las fábricas. Otras, por su parte, no son tan fáciles de identificar, como los derrames de productos químicos o las escorrentías de las ciudades y de los campos agrícolas. Además es conocido que los contaminantes químicos también pueden ser transportados grandes distancias a través del aire. La Tabla 1 muestra los efectos que tienen algunos metales pesados sobre la salud de los humanos, cuando alcanzan los niveles nocivos de concentración en agua potable, así como también las fuentes más comunes de contaminación de este tipo de sistemas.

Tabla 1. Principales contaminantes metálicos en el agua, efectos sobre la salud y fuentes comunes de contaminación ^[4]

Contaminante	NMC*, mgL⁻¹	Posibles efectos en la salud por exposición que supere el NMC*	Fuentes comunes de contaminación del agua potable
As	0,006	Lesiones en la piel. Trastornos circulatorios, alto riesgo de cáncer.	Erosión por depósitos naturales de ciertos minerales que son radiactivos y pueden emitir radiación conocida como radiación alta.
Cd	0,005	Lesiones renales.	Corrosión de tubos galvanizados, erosión de depósitos naturales, efluentes de refinerías de metales, líquidos de escurrimiento de baterías usadas y de pinturas.
Cu	1,300	Corto plazo: molestias gastrointestinales. Largo plazo: lesiones hepáticas o renales.	Corrosión de cañerías, erosión de depósitos naturales.
Cr	0,100	Dermatitis alérgica	Efluentes de fábricas de acero y papel; erosión de depósitos naturales.
Hg (Inorgánico)	0,002	Lesiones renales	Erosión de depósitos naturales, efluentes de refinerías y fábrica; lixiviados de aguas contaminadas de vertederos y tierras de cultivo.
Pb	0,015	Bebés y niños: retraso en el desarrollo físico y mental; los niños podrían padecer de un leve déficit de atención y capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión.	Corrosión de los sistemas de tuberías. Erosión de depósitos naturales. Efluentes provenientes de fábricas de pinturas.
Tl	0,002	Caída del cabello; alteración en la sangre; trastornos renales, intestinales o hepáticos.	Lixiviación de plantas procesadoras de minerales; efluentes de fábricas de vidrio, productos electrónicos y farmacéuticos.

*Nivel máximo del Contaminante permitido en agua potable.

En las últimas décadas, el interés del estudio de la contaminación por metales pesados se ha ido enfocando progresivamente en los organismos acuáticos. La concentración de metales en los tejidos de peces es comúnmente usado para establecer estándares públicos de salud y para la protección de estos sistemas ^[5]. Los efectos de los metales pesados se manifiestan en los organismos de forma directa, por acumulación en el cuerpo, o indirectamente, por transferencia al próximo nivel trófico de la cadena alimenticia ^[6]. En el ambiente acuático, los

metales pesados en forma disuelta son fácilmente absorbidos por los organismos que lo habitan, donde son fuertemente enlazados con las proteínas y acumulados en los tejidos ^[7, 8]. La acumulación de estos metales en los tejidos de los organismos puede resultar en enfermedades crónicas y daños potenciales a la población ^[9, 10].

Cuando son analizados metales pesados, tanto en agua como en tejidos de peces, es común encontrar bajos valores de concentración ($\leq$ ppm), por lo que se hace necesario el empleo de metodologías y/o técnicas analíticas sensibles y con bajos límites de detección. La Tabla 2 presenta las principales características de algunas técnicas analíticas empleadas en la determinación del contenido metálico en muestras ambientales.

Tabla 2. Principales técnicas empleadas en el análisis de metales pesados en aguas y tejidos de peces. Ventajas y desventajas

Técnica	Ventajas	Desventajas
Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES)	- Permite el análisis multielemental. - Determinación de 70 elementos. - Límites de detección entre 0,1 y 100 ngmL⁻¹. - Precisión entre 0,5 y 2,0 % (DER). - Intervalo dinámico lineal entre 4 y 6 órdenes de magnitud.	- Interferencias espectrales y no espectrales. - Menor sensibilidad que ICP-MS y ETAAS
Espectrometría de Absorción Atómica con Llama (FAAS)	- Instrumentación simple. - Pocos efectos matriciales. - Bajo costo.	- Baja sensibilidad - Elevado consumo de muestra.
Espectrometría de Absorción Atómica con Generación de Vapor Frío (CV-AAS) y Generación de Hidruros (HG-AAS)	- Separa el analito de la matriz. - Instrumentación Sencilla. - Bajo fondo. - LD en el orden de los ppb para CV-AAS - LD en HG-AAS de 10 a 100 veces mejor en los elementos As, Sb, Sn, Se, Bi, y Pb, en contraste a otras técnicas.	- Limitado a un pequeño grupo de elementos - Consume tiempo de análisis.
Espectrometría de Absorción Atómica con atomización Electrotérmica (ETAAS)	- Intervalo dinámico lineal de hasta 2 órdenes. - LD 0,5-0,006 ngmL⁻¹. - Volumen de muestra 0,5-20 μL.	- Interferencias espectrales y no espectrales. - Tiempo elevado de Análisis.

LD: Límite de detección

Cuando nos referimos a contaminación por metales en peces, son de suma importancia tres elementos, As, Cd y Hg ya que se ha comprobado que sus consecuencias se extienden desde el propio pez hasta los humanos ^[11].

Tal como es mostrado en la Figura 1, el mercurio es emitido al aire por fuentes antrópicas que involucran las actividades humanas, o mediante fuentes naturales como el caso de los volcanes. Puede llegar a las fuentes de agua por distintas vías, bien sea mediante la deposición del mercurio atmosférico, por medio de las lluvias o por los desechos industriales que son arrojados a los afluentes de las aguas naturales ^[12].

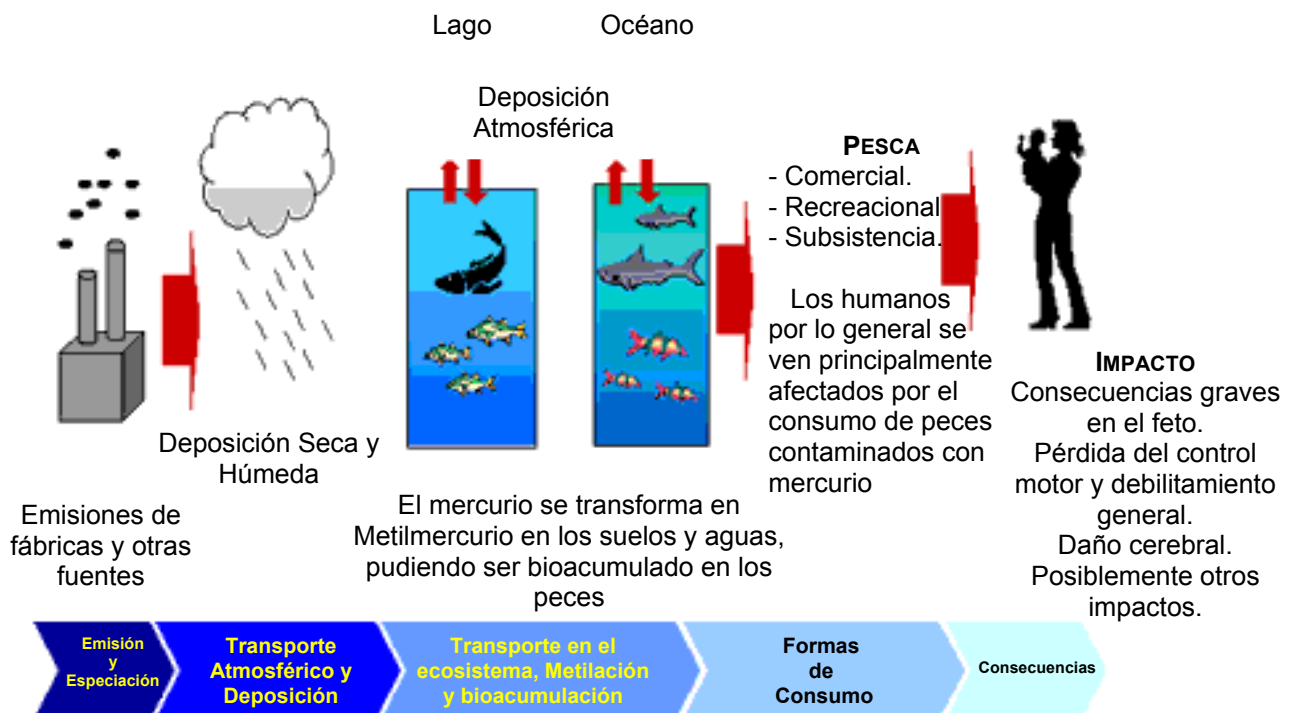


Figura 1. Mecanismo de propagación del mercurio en el ambiente ^[12]

Las bacterias presentes en los suelos y sedimentos convierten el mercurio en metilmercurio. En esta forma, es adquirido por pequeños organismos acuáticos que incluyen tanto plantas como animales. Los peces se alimentan de estos organismos llevando el metilmercurio a sus cuerpos. Los peces más grandes se comen a los más pequeños, por lo tanto el metilmercurio se va concentrando a medida que viaja

a través de la cadena alimenticia, como ya había sido citado anteriormente. Este proceso llamado bioacumulación (Figura 2), explica el porque las mayores concentraciones de mercurio se encuentran en los peces de mayor tamaño o depredadores. En humanos, la ingesta de peces contaminados con mercurio puede causar daño cerebral, que incluye alteraciones psicológicas, deterioro de la audición, ceguera, ataxia, pérdida del control motor y debilitamiento general ^[13].



Figura 2. Proceso de bioacumulación del mercurio ^[12]

El cadmio, es un elemento muy tóxico comúnmente encontrado en las aguas, de importancia tanto ecológica como para la salud humana, el cual ha sido detectado en cantidades críticas en varias partes del mundo ^[14]. La producción, consumo y emisiones de cadmio al ambiente se ha incrementado dramáticamente durante el siglo XX, debido a su uso industrial (baterías, estabilizadores plásticos, pigmentos); como consecuencia, conducen a la contaminación del hábitat acuático ^[15]. La acumulación de estos metales ocurre principalmente en los riñones, hígado y en las agallas de los peces ^[16], causando daños y variaciones patológicas en los órganos antes mencionados ^[17]. Los límites de consumo de estos elementos en peces se muestran en la Tabla 3.

Además de los elementos anteriores, se ha encontrado que altos niveles de concentración de plomo, hierro y cobre ocasionan rápidos cambios fisiológicos en peces de ríos y lagos ^[18].

Tabla 3. Concentraciones máximas para el consumo de ciertos elementos a partir de los cuales se consideran tóxicos y carcinógenos ^[19]

Contaminante	Toxicidad Crónica*	Carácter Carcingénico
As	$3,0 \times 10^{-4} \text{ mgKg}^{-1}.\text{d}^{-1}$	$1,5 \text{ mgKg}^{-1}.\text{d}^{-1}$
Cd	$1,0 \times 10^{-3} \text{ mgKg}^{-1}.\text{d}^{-1}$	Probable Carcinógeno humano
Hg	$1,0 \times 10^{-4} \text{ mgKg}^{-1}.\text{d}^{-1}$	Probable Carcinógeno humano

* Los límites de consumo están basados en adultos con un peso promedio de 70 Kg.

La concentración de metales pesados en peces, está relacionada con diversos factores, tales como: hábitos y comportamiento del organismo ^[20], nivel trófico, fuente del metal en particular, distancia del organismo a la fuente de contaminación y la presencia de otros iones en el entorno ^[21], bio-magnificación y/o bio-disminución de un metal en particular ^[10], disponibilidad del alimento ^[22], temperatura, transporte del metal a través de la membrana y velocidad de asimilación del animal ^[23], propiedades físicas y químicas del agua ^[24]. Asimismo los cambios de estación en la composición taxonómica de diferentes niveles tróficos, afectan la concentración y acumulación de metales pesados en el cuerpo del pez ^[21].

2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE VENEZUELA

Venezuela no está exenta de problemas de contaminación, específicamente de la contaminación de las aguas, es por ello que es importante determinar la concentración de contaminantes en ellas, con el propósito de realizar un esquema de clasificación para identificar el uso de las mismas. Según Decreto 883 (1995) ^[25] de la República de Venezuela, las aguas del territorio nacional pueden ser clasificadas atendiendo a su calidad, como se indica en la Tabla 4. Esta distinción se realiza tomando en consideración, de manera adicional, una serie de parámetros

físicos, químicos y biológicos, tales como: oxígeno disuelto (O.D.), pH, color real, turbidez, fluoruros, organismos coliformes totales y contenido de algunos compuestos orgánicos e inorgánicos, entre los cuales destacan los metales pesados.

Tabla 4. Clasificación de las aguas de Venezuela (Decreto 883, 1995) ^[25]

Tipo	Definición	Sub-Tipo	Definición
1	Aguas destinadas al uso doméstico y al uso industrial que requiera de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o sub-producto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él.	1A	Aguas que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes.
		1B	Aguas que pueden ser acondicionadas por medio de tratamientos convencionales de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración.
		1C	Aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional.
2	Aguas destinadas a usos agropecuarios.	2A	Aguas para riego de vegetales destinados al consumo humano.
		2B	Aguas para el riego de cualquier otro tipo de cultivo y para uso pecuario.
3	Aguas marinas o de medios costeros destinadas a la cría y explotación de moluscos consumidos en crudo.		
4	Aguas destinadas a balnearios,	4A	Aguas para el contacto humano total.
		4B	Aguas para el contacto humano parcial.
5	Aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable.		
6	Aguas destinadas a la navegación y generación de energía.		
7	Aguas destinadas al transporte, dispersión y desdoblamiento de poluentes sin que se produzca interferencia con el medio ambiente adyacente.		

De acuerdo al Decreto 3.219 (1999) ^[26], las aguas del embalse Suata pertenecen a las categorías tipo 2 y 4, cuyo contenido metálico máximo referido por el MARNR ^[25] se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Contenido de metales en la clasificación venezolana de las aguas Tipo 1, 2 y 4 ^[25]

Tipo	Sub- tipo	Contaminante	Concentración (mgL ⁻¹)
1	1A	As	0.050
		Cd	0.010
		Cu	1.000
		Cr	0.050
	1B	Fe	1.000
		Mn	0.100
		Hg	0.010
		Pb	0.050
		Zn	5.000
2	2A	As	0.050
		Cd	0.005
		Cu	0.200
		Cr	0.050
		Fe	1.000
		Mn	0.500
	2B	Hg	0.010
		Ni	0.500
		Pb	0.050
		V	10.00
		Zn	5.000
4	4A	Metales	No detectables*
	4B		

* Según los métodos aceptables por el MARNR

De manera adicional, y para fines de comparación, en la tabla 6 se presentan los valores máximos establecidos por la EPA para agua dulce (freshwater) ^[27]

Tabla 6. Concentraciones límite reportadas por la EPA para los elementos de interés, expresadas en (μgL^{-1})

Elemento	Concentración máxima reportada EPA ^[26]
Cd	3,9
Cu	18
Cr	16*
Hg	2,5
Ni	1400
Pb	82

2.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN AGUAS, TEJIDOS DE PECES Y OTRAS MUESTRAS DE INTERÉS AMBIENTAL

La información relacionada con la determinación de la concentración de metales pesados en aguas, tejidos de peces y otras muestras de interés ambiental en el ámbito internacional es muy amplia. La Tabla 7 muestra algunos de los trabajos más recientes relacionados con el tema de estudio y algunos detalles de los mismos.

Como se muestra en la Tabla 7, la técnica FAAS sólo es empleada en la determinación de elementos mayoritarios, esto debido a la baja sensibilidad de la técnica. Para la determinación de elementos minoritarios, es necesaria la aplicación de técnicas de mayor sensibilidad, tales como ETAAS, ICP - OES, ICP - MS, AFS, entre otras.

Tabla 7. Determinación de metales en muestras de aguas, peces y sedimentos

Autor y Fecha	Muestra	Elementos Analizados	Técnica Analítica	Validación
Yilmaz ^[28] (2002)	Peces (<i>Mugil cephalus</i> and <i>Trachurus mediterraneus</i>)	Fe, Cu, Ni, Cr, Pb y Zn	ICP- OES	-----
Mansour y Sidky ^[29] (2002)	Agua y Peces	Zn, Fe, Mn, Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Co y Sn	FAAS	-----
Gallindo y Col. ^[30] (2003)	Sangre	Cd, Pb y Pd	ETAAS	-----
De Mora y col. ^[31] (2004)	Bivalvos marinos, peces y sedimentos	Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Hg, Cd, Sb, Ag y Pb	Hg: (CV- AFS) Otros: (ICP- MS) con nebulizador MCN	Sedimentos: MESS- 2 Biota: IAEA142, SRM- 2976 y DULT- 2
Storelli y Marcotrigiano ^[32] (2004)	Tejidos de Peces	Hg y Cd	ETAAS Y CV- AAS	DORM- 1
Dalman y col. ^[33] (2006)	Sedimentos y agua	Cd, Pb, Cu, Zn	FAAS	Sedimentos: HISS- 1 Peces: DORM- 2
Gammons y col. ^[34] (2006)	Tejidos de peces, agua y sedimentos	Hg	CVAAS	-----
Christensen y Nakajima ^[35] (2006)	Agua y sedimentos	Agua: Parámetros hidroquímicos. Sedimentos: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn	Metales por ETAAS, otros por GC- FID	-----
Demirak y col. ^[36] (2006)	Agua, peces y sedimentos	Cd, Cr, Cu, Pb y Zn	ICP- OES	Agua: SRM- 143d, Sedimentos: CRM- 277, Peces: DORM- 2
Christoforidis y col. ^[37] (2007)	Tejidos de peces	PCBs, HCH. DDT, HCB, CHLs y Hg	GC/MS y FIMS 100- FIAS 400	DORM- 2

En todos los casos, para realizar las determinaciones de los elementos es necesario que las muestras se encuentren en solución, por lo cual se requiere emplear procedimientos de digestión de las muestras sólidas. Para el caso del análisis de aguas, no es necesario llevar a cabo ningún tipo de digestión, lo que si es importante es la preservación de las muestras desde el momento de la captura hasta la llegada al laboratorio y su posterior análisis.

Las muestras de aguas, deben pasarse a través de una membrana de nylon de 0,45 μm , posteriormente acidificarse con ácido nítrico hasta llevarlas a $\text{pH} < 2$. Seguidamente deben preservarse a una temperatura inferior a los 4°C hasta el momento de su análisis. Con este tratamiento, las muestras pueden ser almacenadas hasta 6 meses para el análisis de la mayoría de los metales, con la excepción del mercurio para el cual la preservación alcanza un tiempo máximo de 28 días ^[38].

Las muestras de tejidos de peces deben refrigerarse hasta el momento de su digestión, la cual emplea ácido nítrico concentrado, asistido mediante un horno microondas para acelerar el proceso. La digestión puede ser llevada a cabo sobre el tejido del pez directamente o sobre el tejido liofilizado.

2.4. ESTUDIOS SOBRE EL CONTENIDO METÁLICO EN AGUAS Y PECES DEL TERRITORIO VENEZOLANO

En Venezuela han sido realizados estudios ambientales, con el fin de conocer el estado o grado de contaminación metálica presente en específicas zonas del país. Algunos de estos trabajos realizados se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Análisis de aguas y especies acuáticas de algunas zonas específicas del país

Autor y Fecha	Muestra	Elementos o compuestos Analizados	Técnica Analítica	Procedencia de las Muestras
Leal ^[39] (1992)	<i>Tivela mactroidea</i> (guacuco) e <i>Isognomon alatus</i> (ostión)	Hidrocarburos Alifáticos, aromáticos, organoclorados y metales pesados (Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn)	GC, ETAAS y fluorimetría	Litoral Barloventeño y Parque Nacional Morrocoy
Guzmán y col. ^[40] (1993)	Tejidos de peces	Cu	FAAS	Laguna Grande, Edo. Monagas
Benzo ^[41] (2001)	Sedimentos y almejas	Fe, Al, Cr, Mn, Cu, Ni, Pb, V y Zn	ICP	Lago de Maracaibo. (Edo. Zulia)
Castillo y col. ^[42] (2005)	Gónadas y Músculo aductor de Mejillones	Cu, Cr, Fe, Pb, Zn, Cd, Ni y Mn	FAAS	Ensenada de Turpialito. Golfo de Cariaco, Edo. Sucre
Boada y col. ^[43] 2007	Músculo y céfalotórax de camarones	Cu ⁺² , Cd ⁺² , Pb ⁺² , Zn ⁺²	FAAS	Golfo de Cariaco, Golfo de Paria (Edo. Sucre), Isla de Margarita (Edo. Nueva Esparta)

A continuación se destacan algunos de los principales resultados de algunos trabajos de dicha tabla relacionados con estudios del contenido metálico en aguas y peces.

- Leal (1992) ^[39], aprovechando la capacidad de bioacumulación que tienen algunos organismos acuáticos, tales como la *tivela mactroidea* (guacuco) e *isognomon alatus* (ostión), determinó los niveles de contaminación de algunas especies orgánicas y metales pesados en 7 estaciones de muestreo en el Litoral Barloventeño y 10 estaciones de muestreo en el Parque Nacional Morrocoy. Las técnicas analíticas empleadas fueron ETAAS para el análisis de metales, GC para el análisis de compuestos organoclorados y fluorimetría para el análisis de los hidrocarburos aromáticos. En el área del litoral Barloventeño, los valores de las concentraciones determinadas de los compuestos orgánicos corresponden a valores intermedios de contaminación, mientras que las concentraciones de DDT

total fueron bajas. Las concentraciones de metales fueron altas para el Ni y Cu, entre 12,0-30,7 μgg^{-1} (tejido seco) para el Ni y entre 58,9-152,0 μgg^{-1} (tejido seco) para el Cu.

En el Parque Nacional Morrocoy fue determinado que las concentraciones de hidrocarburos alifáticos y aromáticos corresponden a niveles intermedios de contaminación, así como para los elementos Ni y Zn en algunas áreas del parque. Las concentraciones de Ni estuvieron entre el intervalo de 13,1-17,6 μgg^{-1} (tejido seco) y las de Zn entre 254-2051 μgg^{-1} (tejido seco).

- Guzmán y colaboradores (1993) ^[40], estudiaron la concentración de Cu en tejidos de coporo (*Prochilodus mariae*) y caribe (*Serrasalmus rhombeus*), dos especies de peces de Laguna Grande, estado Monagas. La determinación del metal fue realizada por FAAS, encontrando que en el hígado de ambas especies se encuentra la mayor cantidad de Cu y que no existen diferencias estadísticamente significativas en relación con la concentración del metal en branquias y músculos. Los valores de concentración encontrados oscilan entre 1,66 μgg^{-1} y 13,10 μgg^{-1} . Adicionalmente, realizaron análisis comparativos del contenido de Cu entre las especies estudiadas, encontrando diferencias significativas entre ellas, siendo *S. rhombeus* la que presentó la mayor cantidad del metal.

- Benzo (2001) ^[41], determinó la granulometría y las concentraciones de metales pesados y C total en muestras de sedimentos y almejas del Lago de Maracaibo. Las muestras fueron sometidas a digestión ácida con HNO_3 , HCl y HF asistida con un horno microondas. A 12 de las muestras de sedimentos captadas, se les realizó una extracción secuencial, que constó de 4 pasos. La distribución granulométrica indicó que los sedimentos recolectados en Punta Leiva, Pescaderos y el Moján corresponden a arena fina (60-120 mallas). Altagracia equivale a arena media (35- 60) y Sta. Rita contiene mayor fracción de grava y arena gruesa. En

total se estudiaron 18 muestras, divididas en dos grupos (13 y 5 muestras en función de la zona), además de 5 muestras de almejas tomadas a orillas del Lago. Las fracciones de sedimentos $< 45 \mu\text{m}$ presentaron mayor concentración de metales y C Total principalmente las del grupo 1, entre $2,30\text{--}4,29 \text{ mgKg}^{-1}$ para Fe; $0,64\text{--}6,11 \text{ mgKg}^{-1}$ para Al; $20\text{--}112 \text{ mgKg}^{-1}$ para Cr; $4\text{--}43 \text{ mgKg}^{-1}$ para Cu; $179\text{--}2523 \text{ mgKg}^{-1}$ para Mn; $8\text{--}58 \text{ mgKg}^{-1}$ para Ni; $119\text{--}208 \text{ mgKg}^{-1}$ para Pb; $36\text{--}153 \text{ mgKg}^{-1}$ para V y $36\text{--}187 \text{ mgKg}^{-1}$ para Zn. Las muestras de almejas presentaron bajas concentraciones de metales y sólo se detectó Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V y Zn encontrándose los siguientes valores: 1 mgKg^{-1} para Cu, 2 mgKg^{-1} para Cu, Ni, Pb y V; 18 mgKg^{-1} para Mn (siendo este el metal presente en mayor concentración) y 7 mgKg^{-1} para el Zn.

- Castillo y colaboradores (2005) ^[42], compararon las concentraciones de los metales pesados Cu, Cr, Fe, Pb, Zn, Cd, Ni y Mn determinadas en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón (*Perna perna*), una vez alcanzada la talla comercial ($74,02 \pm 23,05 \text{ mm}$) de un cultivo piloto, en la Ensenada de Turpialito en el Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela, con la finalidad de determinar la acumulación de estos metales pesados en los tejidos y verificar si estos organismos son óptimos para el consumo humano. Los metales en cada tejido fueron analizados mediante FAAS. Encontraron que los metales esenciales fueron acumulados en mayor proporción que los no esenciales tanto en la gónada ($\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cd} > \text{Pb} > \text{Mn}$), como en el músculo ($\text{Zn} > \text{Fe} > \text{Cr} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Ni}$). A pesar de que el Zn fue el metal que presentó la mayor concentración en el músculo $167,75 \pm 149,58 \mu\text{gg}^{-1}$ y gónada $65,97 \pm 17,68 \mu\text{gg}^{-1}$, el valor encontrado está por debajo del valor máximo permisible, el cual corresponde a 830 mgg^{-1} . Los metales pesados Cr, Cu y Ni presentaron valores de concentración elevados. Los niveles de Cr en músculo fueron de $7,49 \pm 3,50 \text{ mgg}^{-1}$ y $3,42 \pm 0,85 \text{ mgg}^{-1}$ en gónada, Los de Cu $7,17 \pm 6,89 \text{ mgg}^{-1}$ en el músculo y $6,61 \pm 2,08 \text{ mgg}^{-1}$ en gónada. Para el Ni los valores fueron $7,02 \pm 4,36 \text{ mgg}^{-1}$ para gónada y $5,76 \pm 2,68 \text{ mgg}^{-1}$ para el músculo. En todos los casos se sobrepasó los niveles estándares establecidos para cada metal, los cuales están en $1,43 \text{ mgg}^{-1}$ para el

Cr y $2,25 \text{ mgg}^{-1}$ para el Ni, así mismo se ha señalado que los mejillones no son buenos indicadores de cobre en el medio ambiente, debido al mecanismo de regulación metabólica que presentan con respecto a este metal ^[55]. El estudio realizado mostró la contaminación por metales pesados en el Golfo de Cariaco, evidenciado por la presencia de los metales Pb, Cu, Ni, y Cr, ya que según las normas venezolanas, en este tipo de ambientes las concentraciones de Pb deben ser tan bajas que no deben ser detectadas.

- Boada y colaboradores (2007) ^[43], determinaron la concentración en μgg^{-1} de peso seco de Cu, Cd, Pb y Zn, en músculo y cefalotórax de camarones pendidos silvestres (*Litopenaeus schmitti*, *Farfantepenaeus subtilis*, *F. notialis* y *F. brasiliensis*) del Golfo de Cariaco, Golfo de Paria en el estado Sucre e Isla de Margarita en el estado Nueva Esparta, Venezuela, mediante la técnica FAAS. Encontraron que el orden decreciente de acumulación del contenido de metales fue el siguiente: Cefalotórax: $\text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$, con la excepción de *F. notialis* capturados en el Golfo de Paria, en los cuales la concentración de Pb no fue detectada ($\text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$). Para *F. brasiliensis* capturada en la Isla de Margarita el orden decreciente fue $\text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. En el músculo: $\text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$, excepto en *F. subtilis* y *L. schmitti* procedentes del Golfo de Cariaco, donde el Pb^{2+} supera al Cu^{2+} ($\text{Zn}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$). No se consideraron los valores promedio de Cd^{2+} para el análisis estadístico porque sólo se detectó el metal en el 25% de las muestras analizadas.

Las concentraciones de Cu oscilaron entre $11,8 \pm 4,0 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$ y $51,19 \pm 23,46 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$ en todas las especies analizadas; las de Zn oscilan entre $28,10 \pm 18,40 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$ y $109,53 \pm 148,78 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$; para el Cd los valores están entre $0,07 \pm 1,24 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$ y $2,30 \pm 5,40 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$ y para el Pb los valores oscilan entre $1,60 \pm 0,35 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$ y $29,27 \pm 23,27 \text{ } \mu\text{gg}^{-1}$. Las concentraciones que determinaron estuvieron dentro de los límites internacionales máximos permisibles para cada metal en camarones.

2.5. Estudios ambientales realizados en el Lago de Valencia y su Cuenca

La Cuenca del Lago de Valencia, representa una amplia zona donde prevalece el desarrollo agrícola e industrial, así como un elevado crecimiento poblacional. Son precisamente estos factores los que han ido contribuyendo constantemente al deterioro de sus aguas, las cuales abarcan el embalse Suata, Taiguaiguay, el propio Lago de Valencia, así como los diferentes ríos y quebradas que sirven de tributos a los embalses y al lago. La Figura 3 representa el uso de las tierras que rodean la cuenca. Toda esta zona ha sido objeto de investigaciones relacionadas con los problemas de contaminación que allí se presentan, en ese sentido en la Tabla 9 se muestran los trabajos consultados relacionados al Lago de Valencia.

Tabla 9. Estudios ambientales realizados en el Lago de Valencia y su Cuenca

Autor y Fecha	Muestra	Elementos o compuestos Analizados	Técnica Analítica
Espiño ^[44] (1989)	Sedimentos	Pb, Cu, Cd, Ni fosfatos, COT e hidrocarburos alifáticos	ETAAS, GC
Benitez ^[45] (1991)	Núcleo de Sedimentos	Hidrocarburos Alifáticos, Aromáticos, cetonas, alcoholes y esteroides	GC y GC-MS
Hausmann ^[46] (1992)	Núcleo de Sedimentos	Hidrocarburos Alifáticos, Aromáticos, cetonas, alcoholes y esteroides	GC y GC-MS
López y col. ^[47] (1998)	Sedimentos	Cr, Zn, Cu, Mn, Cd, Ba y COD	ICP
Mogollon y Bifano ^[48] (2000)	Sedimentos	Cr, Fe, Mn, Ni, Na y Zn	FAAS

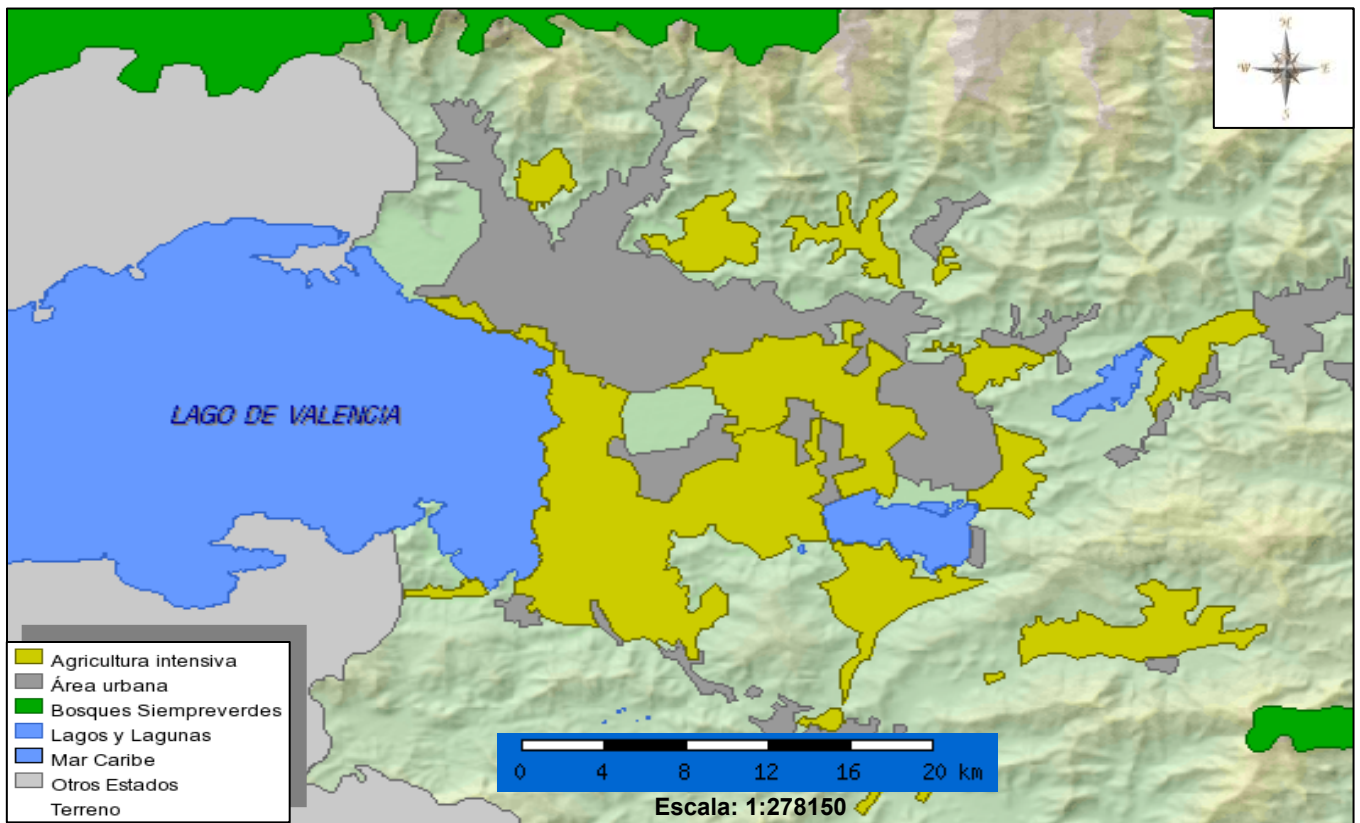


Figura 3. Usos de las tierras que conforman la cuenca del Lago de Valencia ^[49]

A continuación son mencionados ciertos detalles resaltantes de algunos de estos trabajos y de algunos estudios específicos realizados en la cuenca.

- Mezzana (1998) ^[50]: desarrolló una propuesta para el uso turístico sostenible de la Cuenca del Lago de Valencia, como una necesidad de fomentar el flujo de temporadistas hacia esa zona, conociendo la gran cantidad de atractivos turísticos que allí se encuentran. Para ello, realizó un análisis con el fin de conocer el grado de contaminación, encontrando como consecuencia, que por se la Cuenca del Lago un ambiente cerrado, sin desagüe natural hacia otra cuenca, las materias orgánicas, inorgánicas y tóxicas producidas por las actividades industriales, domésticas y agropecuarias se acumulan y se concentran en el vaso receptor del lago sometiéndola a diversos problemas ambientales. Los principales sistemas de recolección de efluentes son los ríos, los cuales descargan en un 80 % en el Lago

de Valencia, 12% en el Embalse Taiguaiguay, 5% en el Embalse de Suata y 1% en la Laguna de El Cabito.

- Méndez y colaboradores (2005) ^[51] evaluaron el impacto ambiental producido por el uso de las aguas residuales vertidas en el sistema de riego Taiguaiguay, para la generación de indicadores agroambientales de sostenibilidad. Encontraron un inminente deterioro de la calidad de las aguas superficiales y almacenamientos superficiales de los Embalses Suata y Taiguaiguay, los cuales han sido convertidos con el tiempo, en los principales colectores de descargas de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas, ocasionando entre otras cosas, problemas de salinización de los suelos.

- Benitez (1991) ^[45] y Hausmann (1992) ^[46] analizaron los sedimentos del Lago de Valencia durante dos años consecutivos, con el fin de realizar un estudio geoquímico y obtener información relacionada a los ciclos biogeoquímicos de la materia orgánica presente en este sistema, mediante el análisis en ambos casos, de hidrocarburos alifáticos, hidrocarburos aromáticos, cetonas, alcoholes y esteroides, determinando además las transformaciones diagenéticas que sufre dicha materia orgánica. Esto permitió establecer la cronología de contaminación del lago respecto a la influencia antrópica. Encontraron que en los sedimentos del Lago de Valencia existe una degradación preferencial de n-alcanos insaturados sobre n-alcanos saturados, ácidos grasos carboxílicos libres sobre sus homólogos enlazados, ácidos de cadena corta sobre los de cadena larga y finalmente de ácidos insaturados sobre los saturados ^[46].

La agencia de cuenca del Lago de Valencia del MARN, con la colaboración de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), dentro del marco del convenio MARN-JICA, realizaron un estudio ("Estudio Integral de los Tributarios en

la Cuenca del Lago de Valencia” ^[52]) con la finalidad de evaluar el grado de contaminación de todos los tributarios de la cuenca. Para ello diseñaron una Red de Monitoreo con 27 estaciones, ubicadas en las desembocaduras de los tributarios afluentes al lago y los embalses Suata y Taiguaiguay.

El estudio fue realizado en el período comprendido entre 1997-2000, contemplando dos fases; en la primera se estableció una Red de Monitoreo de Tributarios en la Cuenca del Lago de Valencia, que permitió realizar la descripción general de los tributarios en la Cuenca; la segunda fase incluyó la caracterización y evaluación de la calidad de las aguas de los tributarios, con la estimación de las cargas másicas y el análisis comparativo de los resultados, con las disposiciones establecidas en el Decreto 3.219 ^[26], que establece el uso que tienen las aguas de los embalses y del lago. Como resultado final de la investigación fue determinado que un total de 21 tributarios drenan directamente al Lago de Valencia, así como 3 tributarios descargan al Embalse Taiguaiguay y uno al Embalse Suata. Así mismo se estableció que todos los tributarios presentan degradación de la calidad de sus aguas, como consecuencia de la continua descarga de aguas residuales urbanas e industriales.

Para conocer la calidad de las aguas, en este estudio, se realizaron análisis físico-químicos y biológicos; aplicando métodos analíticos utilizados en las determinaciones cuantitativas basadas en el Standard Methods for the Examination of water and Wastewater, APHA (1999). Se realizaron mediciones de pH, conductividad eléctrica, DBO5, DQO, fósforo total, nitrato total, nitritos, nitratos, cloruros, sulfato, sólidos totales, disueltos y suspendidos totales, concentración de Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cr, Pb, Cd, coliformes totales, coliformes fecales, plaguicidas y organoclorados. Las concentraciones de los metales obtenidos en el punto de

monitoreo del Río Aragua, así como los tributarios al Embalse Suata son mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10. Concentraciones encontradas de algunos metales en aguas del Río Aragua, principal tributario del Embalse Suata ^[52]

Año	Mes	Concentración, mgL ⁻¹								
		Fe	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb	Cd	Al
1998	Marzo	1,8860	<0,0500	0,4820	0,0630	<0,0500	0,1970	<0,2000	<0,0150	-----
2000	Marzo	2,8430	<0,0500	1,3340	0,0500	<0,1000	<0,2500	<0,2000	<0,0200	-----
	Octubre	4,6000	0,0003	0,2600	0,1200	<0,0005	<0,1250	<0,0001	<0,0001	3,8000

2.6. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.6.1. INFORMACIÓN GENERAL

El embalse Suata está ubicado en el estado Aragua, Venezuela, específicamente a unos 6 Km al suroeste de La Victoria. Fue construido en los años 1941-1942 con el propósito de riego y puesto en funcionamiento en 1950. Es propiedad del MARNR, estimándose al momento de su construcción, un tiempo de vida útil de 100 años. Este embalse es alimentado por el Río Aragua desde el Dique La Curía, conectado por un canal de aducción de unos 962 m y una capacidad de 13 m³s⁻¹. Además, recibe aportes de las quebradas El Mamón y Agua Blanca, tal como es indicado en la Figura 4. El nivel máximo del embalse es de 509,90 m.s.n.m., para una capacidad máxima de 43 millones de m³ y un área máxima de 850 Ha. Este embalse no tiene aliviadero y sus aguas son utilizadas para la alimentación de un sistema de irrigación con una superficie de 2000 Ha ^[52]. Las coordenadas del Embalse son 10° 11'36,52''N 67°23'49,89''W.

El Río Aragua está ubicado en el sector noreste de la cuenca, originado por la confluencia de la quebrada Macanillal y del río San Carlos. La dirección del

recorrido es este- oeste a partir de La Victoria, con una longitud de unos 58 Km y el área es de aproximadamente 398 Km².

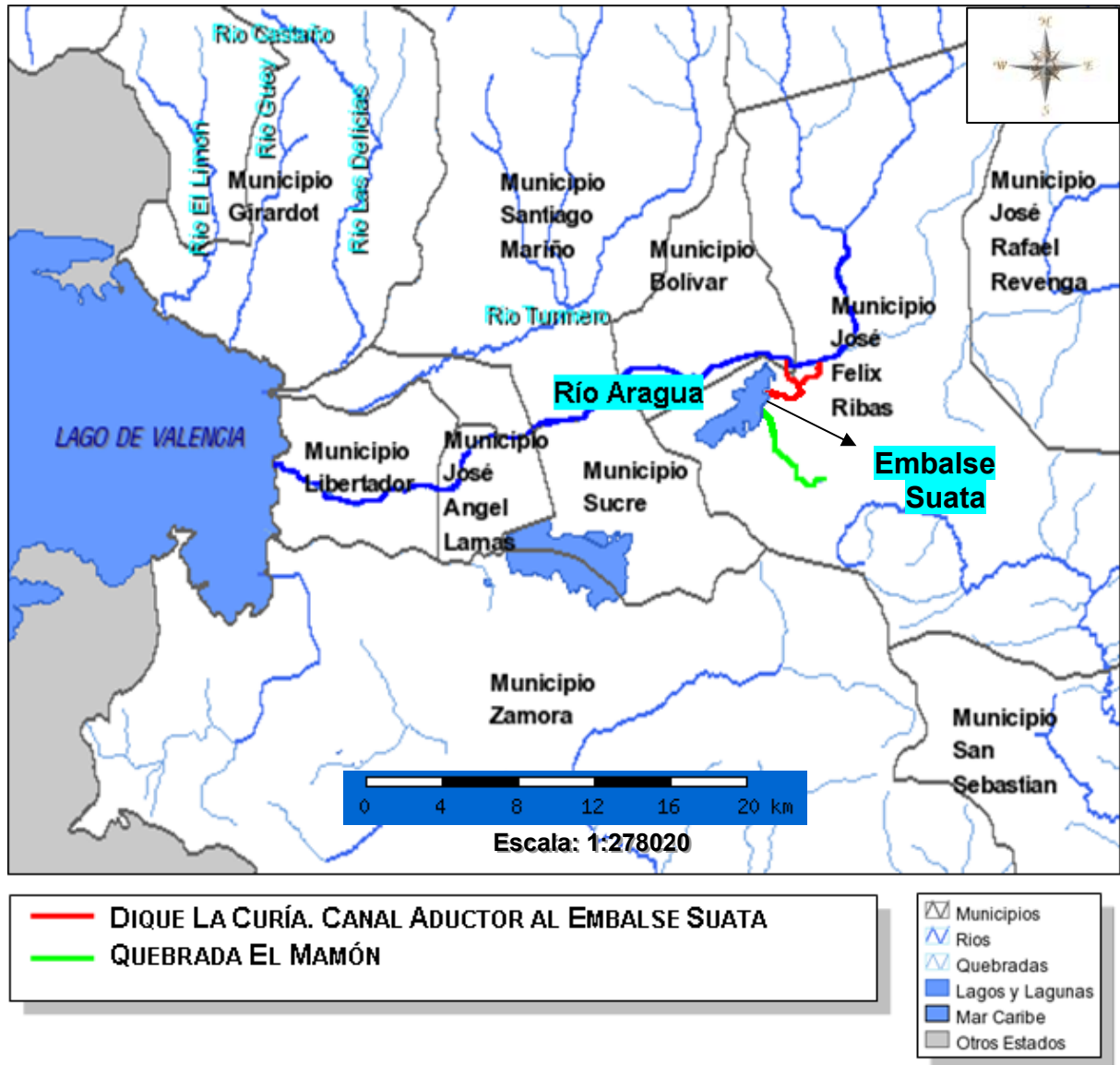


Figura 4. Características Hidrográficas de una sección del Estado Aragua ^[53]

El río Aragua es el más largo y caudaloso de la cuenca del Lago de Valencia, sus aguas son desviadas en dos puntos: a) En el Dique La Curía, mediante el canal aductor que alimenta el embalse Suata; b) Aguas abajo esta controlado por el Dique Aragua, en donde se une al río Turmero. Ambos ríos alimentan al embalse Taiguaiguay a través del Canal Aductor Turmero Aragua (figura 4), por lo que el uso principal de estos ríos es el riego.

2.6.2. INFORMACIÓN LITOLÓGICA

La litología que constituye la zona de estudio, puede indicarse de manera general como constituida por unidades que conforman a las formaciones Paracotos, Tucutunemo y Los Naranjos y por el Gneiss de La Aguadita:

- Formación Paracotos: caracterizado por la presencia de abundante lutita filítica limosa y carbonácea intercaladas con capas delgadas de caliza afanítica.
- Formación Tucutunemo: representado por filitas carbonáceas arenosas que pasan gradualmente a metarenisca cuarzo-feldespático y limonitas. Cantidades menores de conglomerados, calizas cristalinas de grano fino asociados con conglomerados de cuarzo.
- Formación Los Naranjos: conformada por metaladas generalmente macizas, algunas con foliación incipiente, metatobas, conglomerados de flujo y meta sedimentos argiláceos.
- Gneiss compuesto por rocas félsicas (cuarzo-plagioclásicas) y máficas (gneiss hornabléndico-cuarzo-oligoclásico y anfibolitas). En la parte superior, la unidad contiene capas de esquistos cuarzo-plagioclásico-clorítico y conglomerados esquistosos con cantos de cuarzo y rocas graníticas (gneiss de La Aguadita). Posee una permeabilidad muy baja, suelos de baja fertilidad, texturas medias, moderadamente profundos, con drenaje externo rápido e interno moderado ^[54, 55].

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Estudiar la concentración de metales pesados Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en el agua y en peces del embalse Suata ubicado en el Estado Aragua, Venezuela.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Validar las metodologías a emplear en la determinación de las concentraciones de los metales de interés en los diferentes tipos de muestras.
- Determinar las figuras de mérito de cada método de análisis.
- Liofilizar las muestras de tejido e hígado de peces para su posterior digestión y análisis.
- Determinar las concentraciones de los elementos Cd, Cu, Cr, Ni y Pb en las muestras de agua, tejido e hígado de peces por ETAAS.
- Determinar la concentración de Hg en agua, tejido e hígado de peces mediante CVAAS.
- Comparar las concentraciones obtenidas con los valores reportados nacional e internacionalmente.
- Establecer si el consumo de peces provenientes del Embalse Suata representa algún riesgo sobre la salud.

IV. PARTE EXPERIMENTAL

4.1. EQUIPOS

Para la liofilización de las muestras de hígado y tejido de peces se empleó un equipo de la casa LABCONCO, modelo FREEZONE 6, el cual tiene capacidad para liofilizar 16 muestras simultáneamente y opera a una temperatura de -50°C y a una presión de 0,293 mbar. El vacío es realizado por una bomba marca Franklin Electric, modelo 1102180403 que posee una potencia de ½ HP.

La digestión de las muestras se realizó empleando un horno microondas marca CEM, modelo MDS 2000. Este equipo cuenta con un controlador de presión y temperatura (máximo 200 psi y 200 °C), posee una potencia de 630 watts, y se emplearon recipientes de teflón para altas presiones (ACV-50).

La determinación de los elementos se realizó empleando un espectrómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica, marca *PERKIN ELMER*, modelo SIMAA 6000 (figura 5), el cual incorpora un policromador tetraédrico Echelle (TEP) en su sistema óptico permitiendo el análisis multielemental. Este equipo cuenta con un corrector de fondo basado en el efecto Zeeman longitudinal y emplea hornos calentados transversalmente y un automuestreador AS – 70. La detección se realiza con un sistema monolítico de 61 fotodiodos de alto desempeño, simultáneo al monitoreo de todos los grupos de 6 diodos usando 8 canales, todo esto paralelo al procesamiento de la señal analógica con un circuito de digitalización de 14 bits. El espectrómetro requiere de un gas inerte para su operación (Ar) y el empleo de lámparas de cátodo hueco para la determinación de Cr, Cu, Ni y Pb y una lámpara de descarga para Cd.



Figura 5. Espectrómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica marca Perkin Elmer, modelo SIMAA 6000

La determinación de Hg se realizó con un espectrómetro de absorción atómica con generación de vapor frío, marca Perkin Elmer, modelo FIMS - 100, mostrado en la figura 6, que consta de una válvula de 4 puertos y un separador gas líquido. Este equipo tiene una sensibilidad característica de $0,25 \text{ ng}$.

4.2. REACTIVOS

Para la digestión de las muestras de hígado y tejido de peces se empleó HNO_3 al 65% p/p, tetradestilado en un destilador de teflón a temperatura por debajo del punto de ebullición, así como también H_2O_2 al 30% p/p, ambos de la casa Riedel-

de-Haën. El HNO_3 también fue utilizado para la acidificación de las muestras de agua y de los patrones.

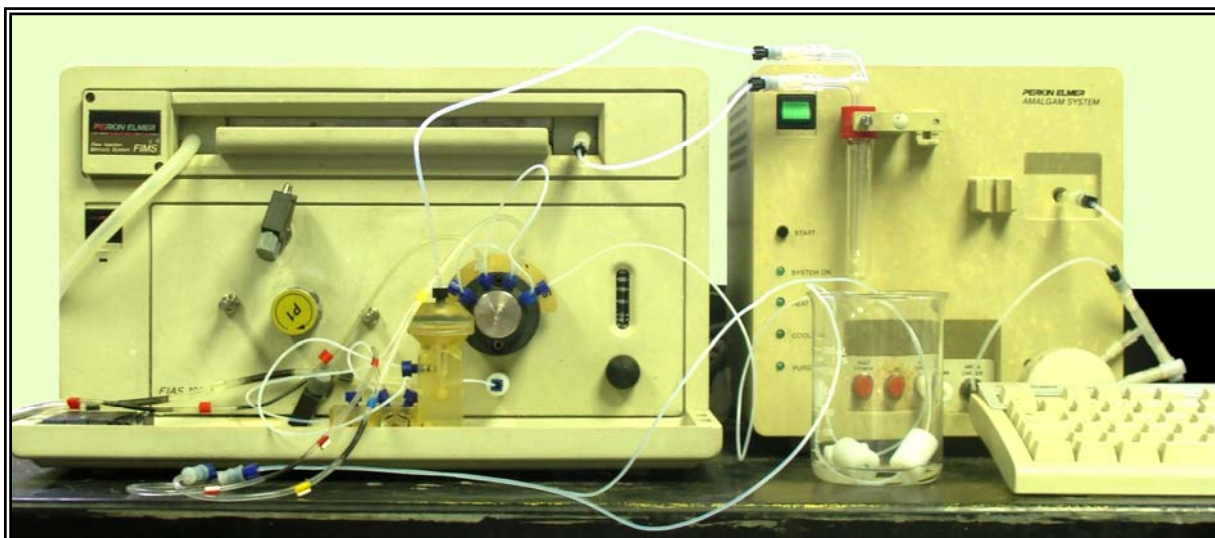


Figura 6. Espectrómetro de absorción atómica con generación de vapor frío, marca Perkin Elmer, modelo FIMS - 100

La preparación del patrón multielemental para la construcción de las curvas de calibración en ETAAS se llevó a cabo empleando estándares unielementales de Pb, Cd, Ni, Cr y Cu de 1000 mgL^{-1} al 2% de HNO_3 cada uno, marca SPEX-CertiPrep.

Para la determinación de Hg en las muestras de hígado y tejido de peces se utilizó H_2SO_4 al 98% p/p marca Riedel-de-Haën y $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ al 99% p/p marca Merck. En el caso de las muestras de agua, se empleó adicionalmente KMnO_4 al 99,1% p/p marca J.T. Baker, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ al 99% p/p y $\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$ al 99% p/p, ambos de la casa Merck. Los patrones de la curva de calibración se prepararon a partir de un estándar de Hg de 1000 mgL^{-1} al 10% HNO_3 marca SPEX-CertiPrep. Como agente reductor se usó NaBH_4 al 95% p/p marca Riedel-de-Haën

Durante todo el estudio se empleó H_2O destilada.

4.3. METODOLOGÍA

4.3.1. MUESTREO

El muestreo fue realizado por el Laboratorio de Limnología del Instituto de Biología Experimental (IBE) de la UCV y se realizó mensualmente desde noviembre del 2007 hasta abril del 2008. A lo largo del Embalse Suata se establecieron dos puntos de muestreo identificados como estación 1 (E1), ubicada en la zona conocida como Dique del Embalse y estación 2 (E2), ubicada en la cola, tal como se muestra en la Figura 7. La primera cuenta con una profundidad máxima de 3 m y la segunda con una profundidad máxima de 6,1 m. Las coordenadas de cada una de las estaciones son 10°12'28''N; 67°23'11''W y 10°11'18''N; 67°24'32''W respectivamente, y se muestran en dicha Figura 7. En ambas estaciones, se tomaron volúmenes de 1 L de muestra, en E1 a 0 m y 3 m de profundidad mientras que en la estación E2 se recolectaron muestras a 0 m y 5 m de profundidad. Las muestras de agua se refrigeraron hasta su llegada al laboratorio. Los peces fueron comprados a pescadores del embalse y se mantuvieron refrigerados hasta su llegada al laboratorio.

En total se recolectaron 24 muestras de aguas (4 muestras por cada mes en 6 meses de muestreo) y 17 de peces. Detalles de este muestreo se presentan en el Apéndice 1.

4.3.2. PRESERVACIÓN

Una vez en el laboratorio, las muestras de aguas se filtraron empleando un filtro de membrana de Nylon de 0,45 μm , de 25 mm de diámetro, marca Millipore Analytical, y se acidificaron con HNO_3 tetradestilado hasta llevarlas a $\text{pH} < 2$. Este tratamiento permitió que las muestras de aguas se preservaran por un lapso de hasta seis meses para el análisis de la mayoría de los elementos, a excepción del Hg para el cual la preservación alcanza 28 días ^[38].



Figura 7. Sitios de captación de las muestras de aguas en el Embalse Suata. E1 zona conocida como el Dique y E2 Zona conocida como Cola del Embalse ^[56]

Los peces recolectados fueron llevados al IBE, donde se realizó la caracterización de cada uno de ellos, recopilando información de interés como talla, peso, especie y sexo así como también se llevó a cabo la disección para obtener las muestras que se analizaron en cada caso (hígado y tejido).

4.3.3. TRATAMIENTO DE LAS MUESTRAS

4.3.3.1. Muestras tejidos e hígado de peces

Las muestras de tejido e hígado a analizar fueron cortadas en cuadros muy pequeños, empleando cubiertos de plástico limpios. Los trozos de tejido e hígado fueron introducidos en un balón de 250 mL, congelados con nitrógeno líquido y

sometidos a vacío durante el proceso de liofilización, tal como se muestra en la Figura 8. El vacío fue realizado por un lapso de 48 horas.



Figura 8. Liofilización de las muestras de tejido e hígado de peces

Una vez liofilizadas, las muestras fueron almacenadas en bolsas plásticas y rotuladas adecuadamente para su posterior digestión.

4.3.3.1.1 Digestión de las muestras de tejidos e hígado de peces

El proceso de digestión de las muestras fue optimizado empleando un horno microondas y los parámetros a modificar fueron, principalmente, la potencia suministrada en cada una de las etapas así como también el tiempo de permanencia de la presión en cada una de ellas. Finalmente se alcanzó un programa común para ambos tipos de muestras, hígado y tejido. En la Figura 9 se muestra la metodología de digestión ácida aplicada que permitió llevar a solución efectivamente las muestras y la Tabla 11 muestra el programa de digestión empleado.

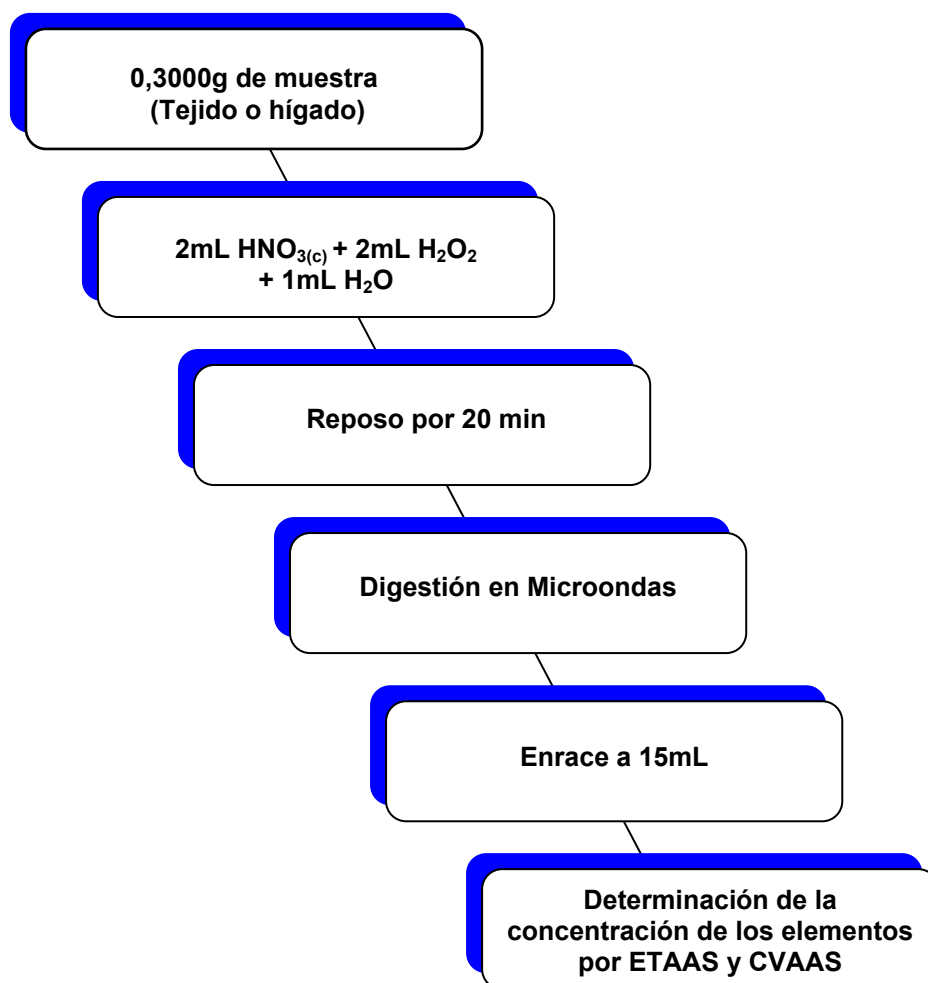


Figura 9. Esquema del método a seguir para la digestión de las muestras de hígado y tejido de peces

El procedimiento mostrado en la Figura 9, así como el programa de digestión representado en la Tabla 11 fue aplicado tanto para las muestras reales como para las muestras certificadas de hígado de bovino BCR-185R y de tejido de ostra NIST-1566b.

Tabla 11. Programa de digestión de las muestras de hígado y tejido de peces en el Horno Microondas

Etapa	(1)	(2)	(3)
% Potencia	70	95	90
Presion (PSI)	40	85	135
Tiempo (min)	15:00	15:00	15:00
TAP*	10:00	10:00	10:00

* Tiempo de permanencia de la presión establecida en cada etapa de la digestión (min)

4.3.3.2. Tratamiento de las muestras de aguas para la determinación de Hg

La Figura 10 muestra la metodología a seguir para la determinación de mercurio total en material certificado de aguas (NIST-1441d) mediante CVAAS.

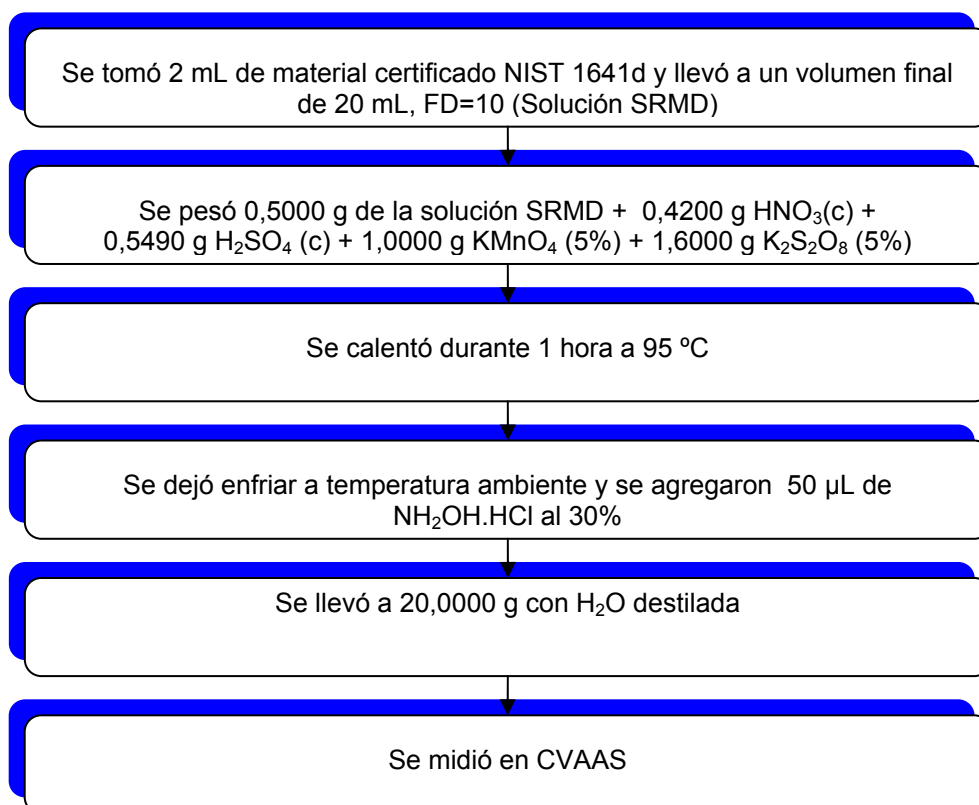


Figura 10. Tratamiento de las muestras de agua para la determinación de mercurio total por CVAAS

La metodología seguida para la determinación de Hg en las muestras de agua del Embalse Suata se representa en la Figura 11 y es muy similar a la metodología llevada a cabo para el material certificado, salvo algunas modificaciones.

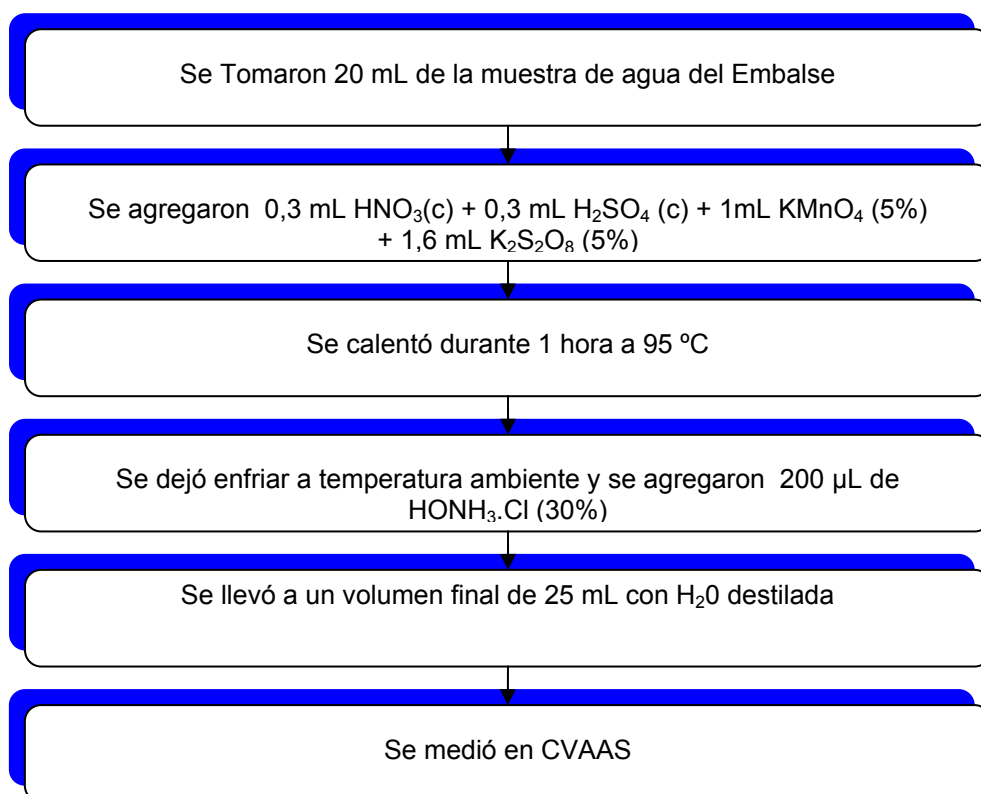


Figura 11 Metodología aplicada para la determinación de Hg en las muestras de agua del Embalse Suata

4.3.3.3 Determinación de las concentraciones de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb por ETAAS

La determinación multielemental de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb en cada una de las muestras del Embalse Suata (agua, tejido e hígado) se realizó mediante ETAAS. Para ello se empleó como modificador químico 5 µg de Pd + 3 µg de Mg(NO₃)₂, siguiendo

las recomendaciones establecidas en la literatura ^[57]. El volumen de inyección fue de 15 µL y el programa general de calentamiento se muestra en la Tabla 12. En la Tabla 13, se muestran las longitudes de onda y tiempos de integración de la señal empleados para cada analito. El programa de temperatura fue optimizado previamente en el trabajo realizado por Alzualde en el 2008 ^[58].

Tabla 12. Programa de temperaturas del horno de grafito para la determinación multielemental de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb en muestras de agua, tejido e hígado de peces

Etapas	Temperatura (°C)	Tiempo de rampa (s)	Tiempo de permanencia (s)	Flujo de Ar (mLmin⁻¹)
Secado I	110	1	20	250
Secado II	130	15	30	250
Calcinado	600	10	20	250
Enfriamiento	30	1	2	250
Atomización	2300	0	6	*
Limpieza	2450	1	3	250

* Tiempo de lectura: entre 2,0 y 5,0 s de acuerdo a cada analito (ver tabla 13)

Tabla 13. Condiciones instrumentales empleadas para las medidas en ETAAS

Elemento	λ (nm)	Tiempo lectura (s)
Cd	228,8	2,0
Cu	357,9	5,5
Cr	324,8	3,5
Ni	232,0	5,0
Pb	283,3	3,0

4.3.4. Validación de las metodologías y análisis de las muestras

La validación de las metodologías de análisis aplicadas a las muestras de agua, se realizó analizando por triplicado las muestras de referencia: CRM TM-26.3 para el análisis de los elementos Pb, Cd, Ni, Cr, Cu y la NIST-1441d para el análisis de Hg. La muestra certificada NIST-1566b de tejido de ostra fue empleada en la validación de la metodología empleada en la determinación de todos los elementos en las muestras de tejido de peces. La muestra CRM de hígado de bovino BCR-185R fue empleada para el análisis de Cd, Cu y Pb en hígado de peces. La validación de la metodología para el análisis de Hg en hígado de peces se realizó por medio del porcentaje de recuperación, ya que no se dispuso del material certificado apropiado. Asimismo, se determinaron las figuras de mérito de las metodologías empleadas y el límite de detección de cada una de las técnicas.

4.4. LUGAR DE TRABAJO

Todo el trabajo fue realizado en el Centro de Química Analítica (CQA) ubicado en la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Validación de las metodologías de análisis empleadas

Empleando las metodologías descritas en la sección previa, se obtuvieron las concentraciones para cada elemento mostradas en la Tabla 14, las cuales se encuentran dentro del intervalo correspondiente de concentraciones reportadas (intervalo de confianza 95%) en cada material certificado, a excepción del Cu en la muestra de hígado de bovino, cuyo valor obtenido se encuentra por debajo del intervalo de concentraciones reportado para dicho elemento. Sin embargo, el porcentaje de recuperación obtenido para el Cu fue aceptable (90,5%).

Tabla 14. Concentraciones obtenidas* y certificadas en los materiales de referencia de Agua TM - 26.3, Tejido de ostra NIST - 1566b e Hígado de bovino BCR – 185R

Material certificado	Concentración	Cd	Cu	Cr	Hg**	Ni	Pb
TM-26.3 Agua	Obtenida (μgL^{-1})	$6,7 \pm 0,1$	$13,8 \pm 0,3$	$12,3 \pm 0,1$	---	$10,0 \pm 0,4$	$11,3 \pm 0,3$
	Certificada ^(I) (μgL^{-1})	$7,1 \pm 1,0$	$13,4 \pm 1,9$	$12,3 \pm 1,3$	NR	$10,2 \pm 1,3$	$10,5 \pm 1,2$
	CV (%)	0,8	1,8	0,7	---	4,0	2,3
	%R	110,9	112,6	124,3	---	110,0	110,6
NIST - 1566b Tejido de Ostra	Obtenida ($\text{mgKg}^{-1}_{\text{seco}}$)	$2,43 \pm 0,06$	$71,7 \pm 1,5$	$0,29 \pm 0,01$	$0,0367 \pm 0,0025$	$1,03 \pm 0,04$	$0,307 \pm 0,002$
	Certificada ^(II) ($\text{mgKg}^{-1}_{\text{seco}}$)	$2,48 \pm 0,08$	$71,6 \pm 1,6$	NR	$0,0371 \pm 0,0013$	$1,04 \pm 0,09$	$0,308 \pm 0,009$
	CV (%)	2,4	2	4,3	6,9	3,4	0,8
	%R	102,5	113,2	98,4	---	105,2	85,3
BCR - 185R Hígado de Bovino	Obtenida ($\text{mgKg}^{-1}_{\text{seco}}$)	$0,519 \pm 0,017$	239 ± 7	$0,31 \pm 0,02$	---	$0,80 \pm 0,08$	$0,144 \pm 0,022$
	Certificada ($\text{mgKg}^{-1}_{\text{seco}}$)	$0,532 - 0,556$	$272 - 282$	NR	NR	NR	$0,167 - 0,177$
	CV (%)	3,2	3,1	6,6	---	9,4	15,1
	%R	96,3	90,5	105,0	108	86,6	113,7

* Valores obtenidos como $\bar{X} \pm \text{sdv}$, N = 3

** Valor reportado como Hg total en la muestra

(I) Valores expresados como $\bar{X} \pm 2\text{sdv}$

(II) Valores expresados como $\bar{X} \pm \text{IC}_{95\%}$

NR: no reportado

CV: coeficiente de variación, %R: porcentaje de recuperación

De manera adicional, la validación de la metodología para la determinación de Hg en agua, se realizó empleando el material certificado NIST-1441d, para el cual se obtuvo una concentración promedio de $1,581 \pm 0,061 \text{ mg Kg}^{-1}$ y un CV de 3,4%, siendo el valor reportado de $1,590 \pm 0,018 \text{ mg Kg}^{-1}$, expresado como valor promedio $\pm$ intervalo de confianza al 95%.

De acuerdo a las concentraciones obtenidas para cada elemento puede afirmarse que las metodologías empleadas en el tratamiento y digestión de las muestras, así como en su análisis, garantizan la exactitud de las determinaciones de los elementos objeto de estudio en las muestras de agua, tejido e hígado de peces.

5.2 Figuras de mérito obtenidas en las diferentes metodologías de análisis

5.2.1 Límites de detección (LOD) y masas características (m_o)

En la Tabla 15, se muestran los límites de detección obtenidos para los elementos determinados mediante ETAAS. Puede observarse que los LOD para todos los elementos, excepto el Cu, se encuentran por encima de los valores reportados ^[65]. Aunque las diferencias no son importantes, éstas pueden ser atribuidas a cambios en la sensibilidad producto del empleo de condiciones compromiso en el análisis multielemental mediante esta técnica, tal como se observa en los valores de las m_o obtenidas. En el caso del mercurio, determinado mediante CVAAS, se obtuvieron como límites de detección $0,0833 \mu\text{g L}^{-1}$ y $0,0041 \text{ mg Kg}^{-1}$ mientras que el valor reportado fue de $0,01 \mu\text{g L}^{-1}$ ^[59].

Tabla 15. Límites de detección y masas características* obtenidos mediante ETAAS

Elemento	m_o Obtenida (pg)	m_o Reportada (pg)* ^[60]	LOD Obtenido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LOD Obtenido (mg Kg^{-1})	LOD Reportado ($\mu\text{g L}^{-1}$) ^[58]
Cd	1,80	1,3	0,0146	0,0007	0,0060
Cu	28,1	17,0	0,0973	0,0049	0,1700
Cr	8,4	7,0	0,0420	0,0021	0,0200
Ni	29,1	20,0	0,4032	0,0202	0,0200
Pb	55,0	30,0	0,2151	0,0108	0,2000

m_o : masa característica, masa de analito equivalente a una señal de absorbancia de 0,0044 ua.

LOD: Límite de detección ($3\text{sdv}/m$ donde m = pendiente de la curva de calibración)

5.3 Análisis de las muestras recolectadas en el Embalse Suata, Edo. Aragua

5.3.1 Determinación de metales pesados en muestras de agua

Las concentraciones obtenidas para los metales Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en las muestras de agua recolectadas en el Embalse Suata, se representan en la Figura 12.

Las muestras aparecen numeradas del 1 al 24, correspondiendo cada grupo de 4, a cada mes de muestreo. De acuerdo a los resultados obtenidos, el Cu presentó la mayor concentración ($0,15 - 4,45 \mu\text{gL}^{-1}$), seguido del $\text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Hg}$. El Cd fue el elemento que presentó la menor concentración en la mayoría de las muestras de agua analizadas, pues sólo 3 de ellas presentaron valores que oscilaron entre $0,05 - 0,15 \mu\text{gL}^{-1}$; mientras que en el resto de las muestras, la concentración de Cd estuvo por debajo del límite de detección. Las concentraciones obtenidas en cada muestra se presentan en el Apéndice 2 y en la Figura 12.

Los valores de concentración obtenidos en todas las muestras, se encuentran para todos los elementos, por debajo de las concentraciones máximas permitidas por la EPA ^[27] en este tipo de aguas, tal como se muestra en la Tabla 16.

De acuerdo a las normas venezolanas, expresadas en el Decreto 3.219, se establece que las aguas del Embalse Suata corresponden a los tipo 2 y 4 que son aguas destinadas a usos agropecuarios y, aguas destinadas a la realización de deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, respectivamente ^[26]. Tal como se muestra en la Tabla 16, los valores obtenidos se encuentran por debajo o muy cercanos al límite de detección de la técnica (ETAAS), por lo tanto dichos valores se encuentran, para todos los elementos, por debajo de los límites establecidos en el Decreto 883 para las aguas tipo 2, destinadas a usos agropecuarios. Para las aguas tipo 4, según el decreto, la concentración de metales no debe ser detectable, dicha determinación según la norma COVENIN 2769-91

debe ser realizada empleando FAAS como técnica de análisis. En este trabajo la determinación de los metales se realizó empleando una técnica mas sensible (ETAAS) por lo que si fue posible cuantificar el bajo contenido metálico presente en el agua. De acuerdo a los resultados obtenidos, el agua del Embalse Suata, es apta para ser empleada a los destinos que conlleva el Decreto 3219.

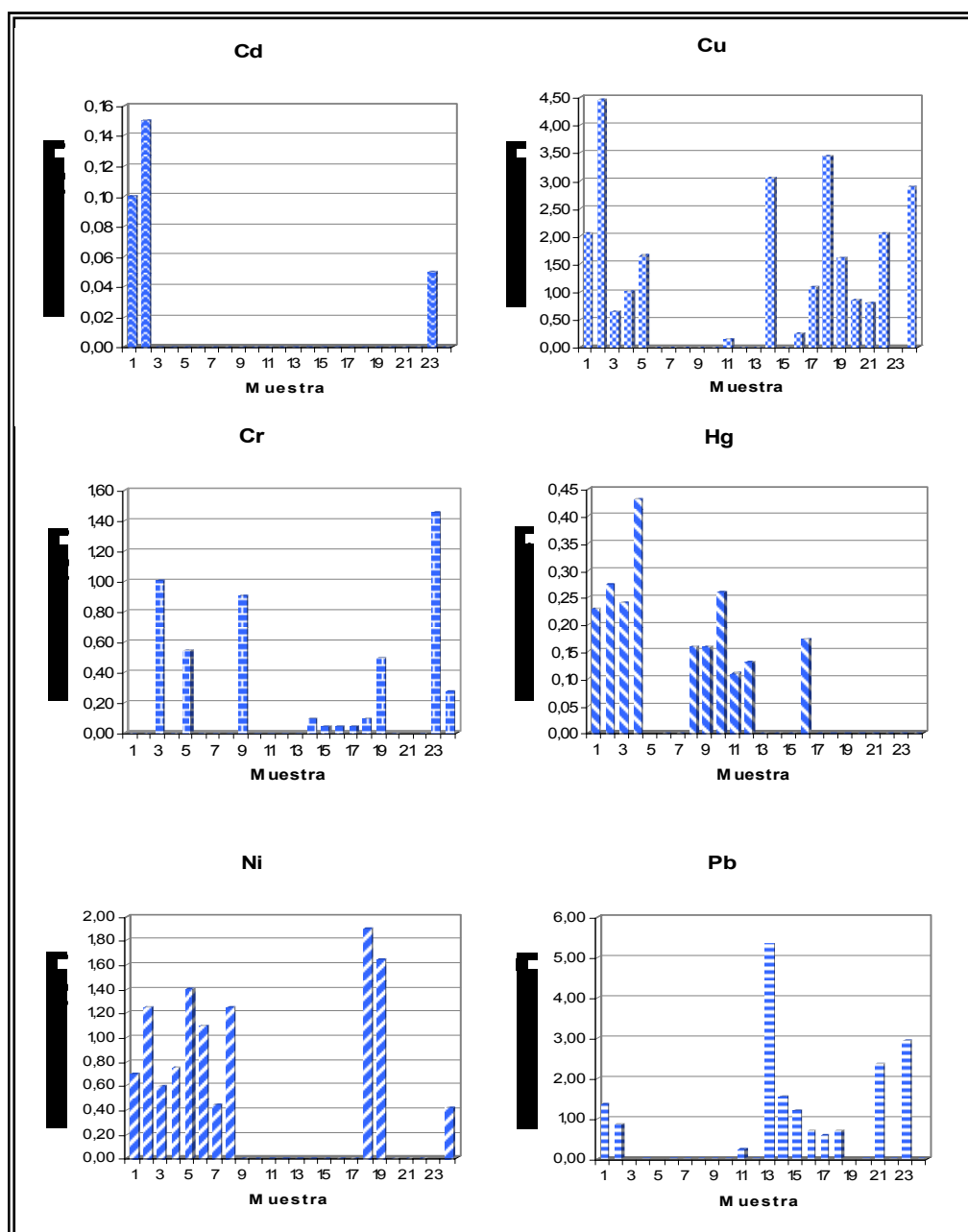


Figura 12. Concentraciones de Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en las muestras de agua, a lo largo de muestreo (noviembre 2007 – abril 2008, N = 24 muestras)

Tabla 16. Concentraciones obtenidas en las muestras de aguas del Embalse Suata y valores límite reportados, todas expresadas en (μgL^{-1})

Elemento	Intervalo de Concentraciones obtenidas	Decreto 883 ^[25]		Concentración máxima reportada* ^[27]
		Tipo 2	Tipo 4	EPA
Cd	< LD – 0,15	5	ND	3,9
Cu	< LD – 4,45	200	ND	18
Cr	< LD – 1,45	50	ND	16*
Hg	< LD – 0,43	10	ND	2,5
Ni	< LD – 1,90	500	ND	1400
Pb	< LD – 5,35	50	ND	82

ND: no detectable , < LD: menor al límite de detección de la técnica

* Concentración máxima reportada por la EPA para agua dulce (FRESH WATER)

5.3.1.1 Estudio de correlaciones

Para las muestras de agua, también fueron determinados, los parámetros fisicoquímicos: temperatura, conductividad, oxígeno disuelto (OD), pH y transparencia. La lectura de estos parámetros fue realizada en los sitios y momentos de captación de las muestras. En el Apéndice 2 se presentan todas las variables fisicoquímicas registradas, así como la totalidad de los datos de los elementos analizados. Como análisis preliminares de estos parámetros del agua y de las concentraciones obtenidas de los metales, se realizó un análisis de agrupamiento o clúster, cuyo dendograma se muestra en la Figura 13. Allí, se muestran los cinco agrupamientos obtenidos, donde el más numeroso agrupa los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua y a los elementos Cd, Cr y Ni.

Las posibles correlaciones entre estos parámetros y las concentraciones de los elementos, se analizaron empleando como estadístico el coeficiente de Spearman, el cual es poco sensible a la influencia de datos anómalos.

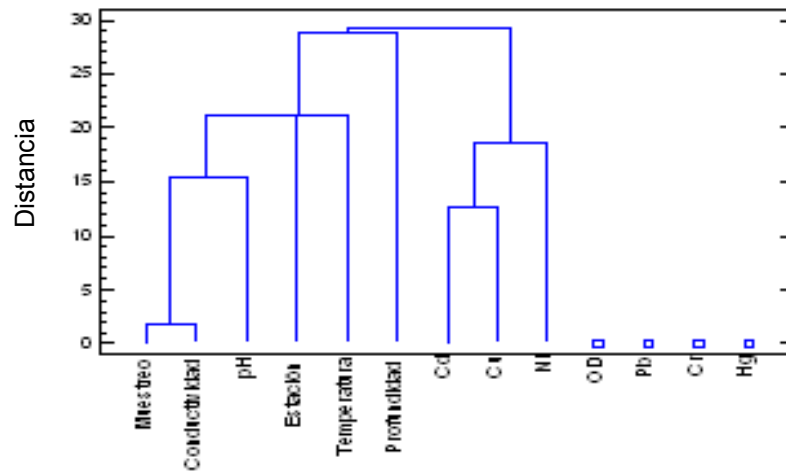


Figura 13. Dendrograma obtenido para las muestras de agua del Embalse Suata

Los resultados numéricos obtenidos, para un 95% de confianza, se presentan en el Apéndice 3, e indican que existe una correlación significativa entre las variables que se muestran en la Figura 14.

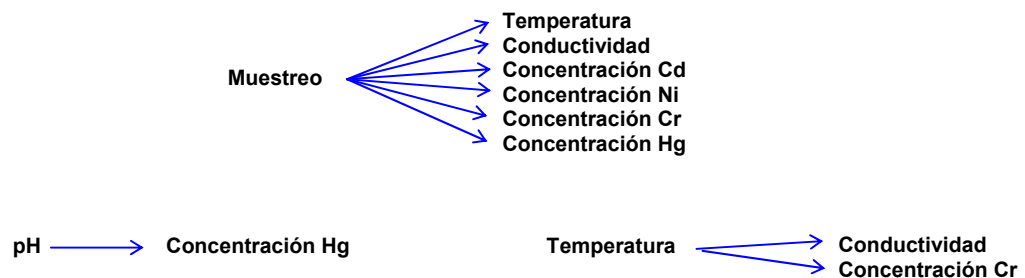


Figura 14. Correlaciones entre variables según el coeficiente de Spearman

Los resultados obtenidos en el análisis de agrupamiento y los obtenidos en el estudio de correlaciones, coinciden excepto en la ausencia del elemento Hg en el agrupamiento junto a los parámetros fisicoquímicos del agua.

La correlación obtenida entre los parámetros fisicoquímicos del agua, tiene una explicación natural, puesto que el embalse es un sistema donde sus parámetros están interrelacionados. La ausencia de correlación entre las variables fisicoquímicas y las concentraciones de los elementos determinados, puede deberse a la baja concentración en la que se encontraron, ya que las variables fisicoquímicas, están determinadas por los elementos e iones mayoritarios presentes en el cuerpo de agua.

En relación a la temperatura, se observaron variaciones con el mes de muestreo, con el punto de captación de la muestra y con la profundidad, tal como se muestra en la Figura 15. En ese sentido, se observó un descenso de la temperatura desde noviembre del 2007 hasta marzo del 2008 y un ascenso hasta el mes de abril de ese mismo año, atribuido a razones climáticas, entre los meses de diciembre y febrero se observaron las menores temperaturas y mayor mezclado del embalse, lo cual homogeniza la temperatura en el cuerpo de agua. Asimismo, se obtuvieron las menores temperaturas en la estación E1, las cuales fueron asociadas posiblemente, a la proximidad de la entrada del canal de aducción del embalse, así como de la entrada de la quebrada El Mamón, cuyas aguas han de encontrarse a menor temperatura, debido al constante movimiento.

El pH, presentó una tendencia creciente con el muestreo, en cada una de las estaciones y en ambas profundidades, tal como se muestra en la Figura 16. El aumento del pH fue mayor en la estación E1, específicamente en la zona de mayor profundidad (3m).

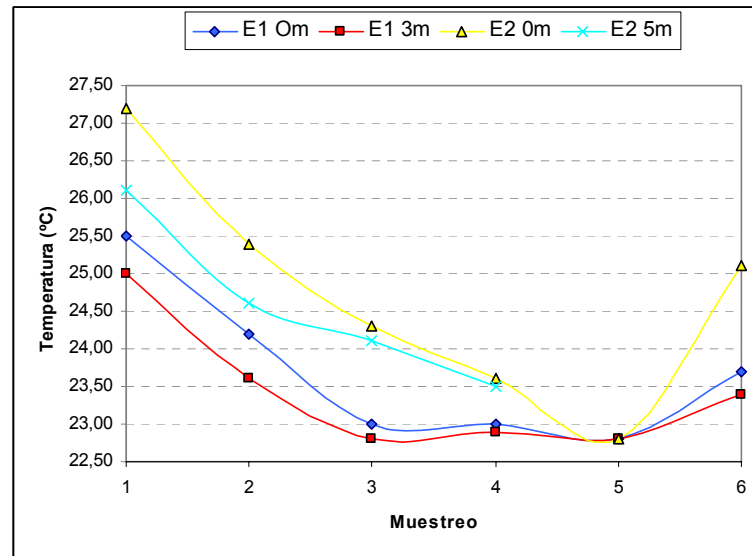


Figura 15. Temperaturas registradas en cada una de las estaciones, a las diferentes profundidades durante los meses de muestreo

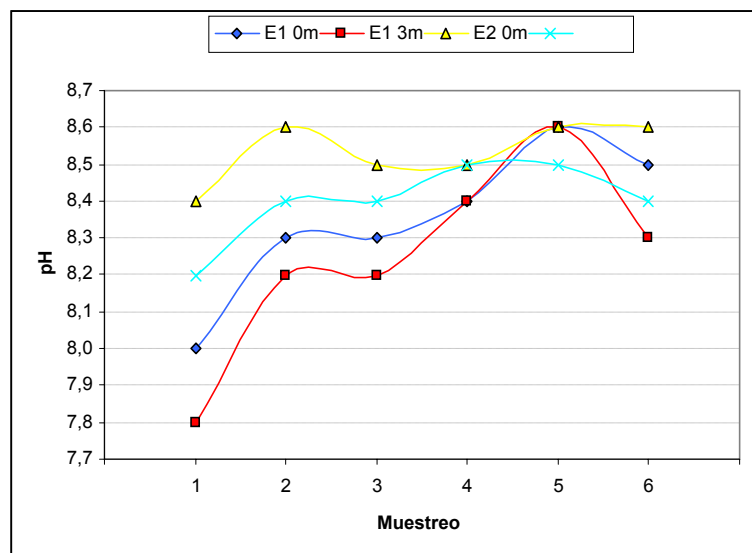


Figura 16. Valores de pH registrados en las aguas del Embalse Suata

Además del pH, se encontró un aumento de la conductividad en el transcurso del muestreo, como consecuencia de la disminución del volumen de agua del embalse, debido a la época de sequía, lo que ocasiona un aumento en la concentración de los iones presentes en el agua. La profundidad de la estación E2 disminuyó, pasando de 5 m en el mes de noviembre del 2007 y a solo 3 m para abril del 2008. La Figura 17 muestra la relación encontrada entre pH, la conductividad y el muestreo.

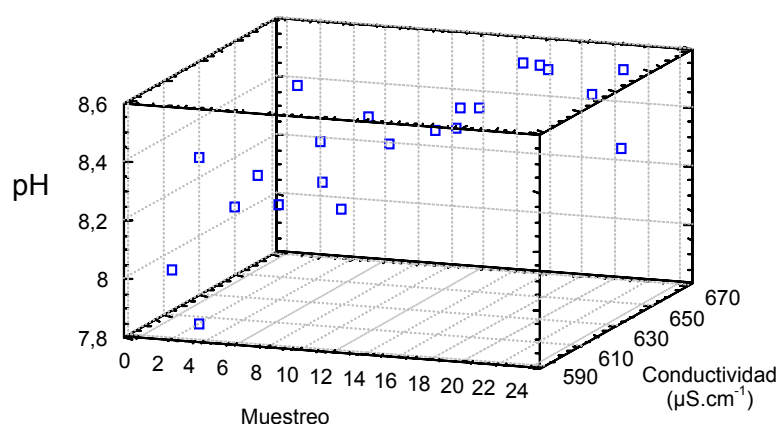


Figura 17. Variación del pH y la conductividad del agua con el muestreo

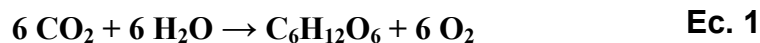
Las pequeñas variaciones de pH afectan significativamente la vida de los organismos acuáticos que habitan el embalse. Por lo general este tipo de aguas se caracterizan por presentar valores de pH ligeramente ácidos, alrededor de 5.5, como consecuencia del equilibrio $\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$ ^[61]. Sin embargo, las aguas del embalse, son ligeramente básicas, probablemente como resultado de la contaminación a la que están sometidas. Como se observa en la Figura 3, las tierras que rodean el embalse son empleadas principalmente para la agricultura, lo que conlleva a un problema de contaminación de sus aguas, específicamente a un proceso de eutrofización ^[62]. Los pesticidas, plaguicidas y fertilizantes, son productos compuestos por una variedad de sustancias químicas entre las cuales destacan el nitrógeno y el fósforo, los cuales terminan siendo depositados en el embalse por las escorrentías o lixiviados por las lluvias ^[63]. Además de sembradíos, a los alrededores

del embalse se ubica un pollera y una cochineria, que generan una gran cantidad de materia orgánica que contiene a su vez, elevadas cantidades de nitrógeno. Todo esto termina siendo acumulado en las aguas del embalse. Este enriquecimiento de nutrientes produce un acelerado crecimiento de algas y plantas acuáticas que van cubriendo la superficie del agua (ver Figura 18).

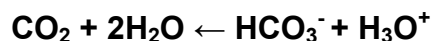


Figura 18. Crecimiento de plantas en la superficie del agua como consecuencia de la eutrofización

Durante el día, aumenta el proceso de fotosíntesis, por lo que la concentración de CO_2 disminuye y aumenta el nivel de oxígeno disuelto en el agua. (Ecuación. 1)



Este consumo de CO_2 , según el principio de *Le Châtelier*, favorece el desplazamiento del equilibrio hacia la izquierda, lo que ocasiona una disminución en la concentración de protones, que se traduce en un aumento del pH del agua (Ecuación 2).



Ec. 2

El aumento del pH del agua observado, es indicativo del proceso de eutrofización del embalse.

El análisis de correlaciones múltiples realizado, reveló que la concentración total de Hg en el agua varió con el muestreo, disminuyendo con el aumento de pH. Este hecho se observa en la Figura 19a. De todas las especies del mercurio, la que predomina es el ión Hg^{2+} , muy soluble, el cual puede ser bioacumulado directamente por los peces, o seguir un proceso de biotransformación, realizado por microorganismos acuáticos, dando lugar a dos especies orgánicas, el dimetilmercurio volátil, que se recicla a la atmósfera y el metilmercurio, que se bioacumula en los peces, y por tanto es incorporado a las cadenas tróficas [64]. El pH es el factor que determina la especie de Hg que predomina una vez que el Hg^{2+} es biotransformado. A valores básicos de pH, el dimetilmercurio, es la especie mayoritaria, pero como se volatiliza, la concentración de Hg total disminuye.

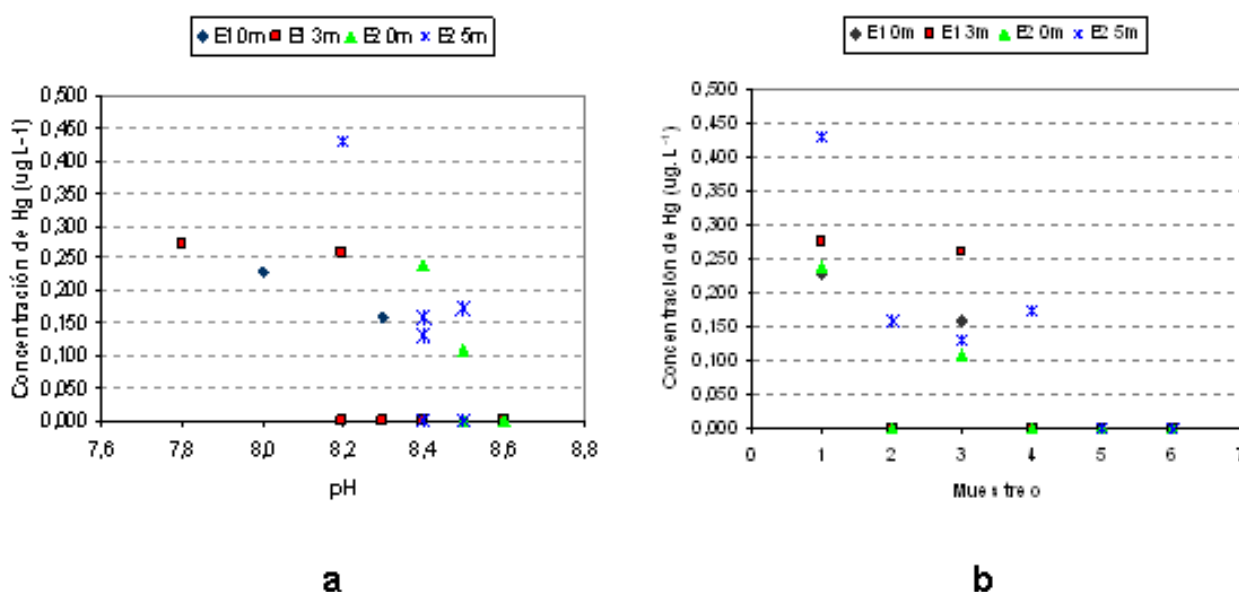


Figura 19. Cambios en la concentración de Hg total con el pH de las aguas (a) y durante el muestreo (b)

5.4 Análisis de tejido e hígado de peces del Embalse Suata, Edo. Aragua.

5.4.1 Determinación de metales pesados en muestras de tejido

El contenido de Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb fue determinado en las muestras de tejido de Guabinas (*Hoplias malabaricus*) recolectadas en el Embalse Suata. Las concentraciones obtenidas en las 17 muestras capturadas se muestran en la Figura 20 y en el Apéndice 4. En la Figura 21 se muestra la dispersión de los datos a través del diagrama de cajas y bigotes.

Las concentraciones de los elementos metálicos, basándose en las medianas obtenidas, disminuyen en el siguiente orden: Cu > Cr > Hg > Ni = Pb = Cd, encontrándose todas por debajo de $0,85 \text{ mgkg}^{-1}$. El Cu fue el elemento que presentó la mayor concentración, resultado esperado, ya que es un elemento esencial para los peces y se encuentra asociado a una variedad de funciones biológicas^[65].

En la Tabla 17 se muestra el intervalo de concentraciones obtenidas de los metales, en las muestras de tejido de peces del Embalse Suata y los valores máximos permitidos establecidos por las normas COVENIN 1087:1998 y 1766:1995, las cuales corresponden a sardinas y atún en conserva, respectivamente. Adicionalmente se presenta el valor máximo permiso para Cd y Hg orgánico en moluscos marinos y pescado, respectivamente, según el Codex Alimentarius^[66]. Se observa que las concentraciones de Cu obtenidas en las muestras de tejido de peces del Embalse Suata, no superan los valores establecidos en éstas normas, a pesar de ser el elemento presente en mayor concentración en este tipo de muestra. Los valores obtenidos para el resto de los elementos tampoco sobrepasaron los valores máximos reportados.

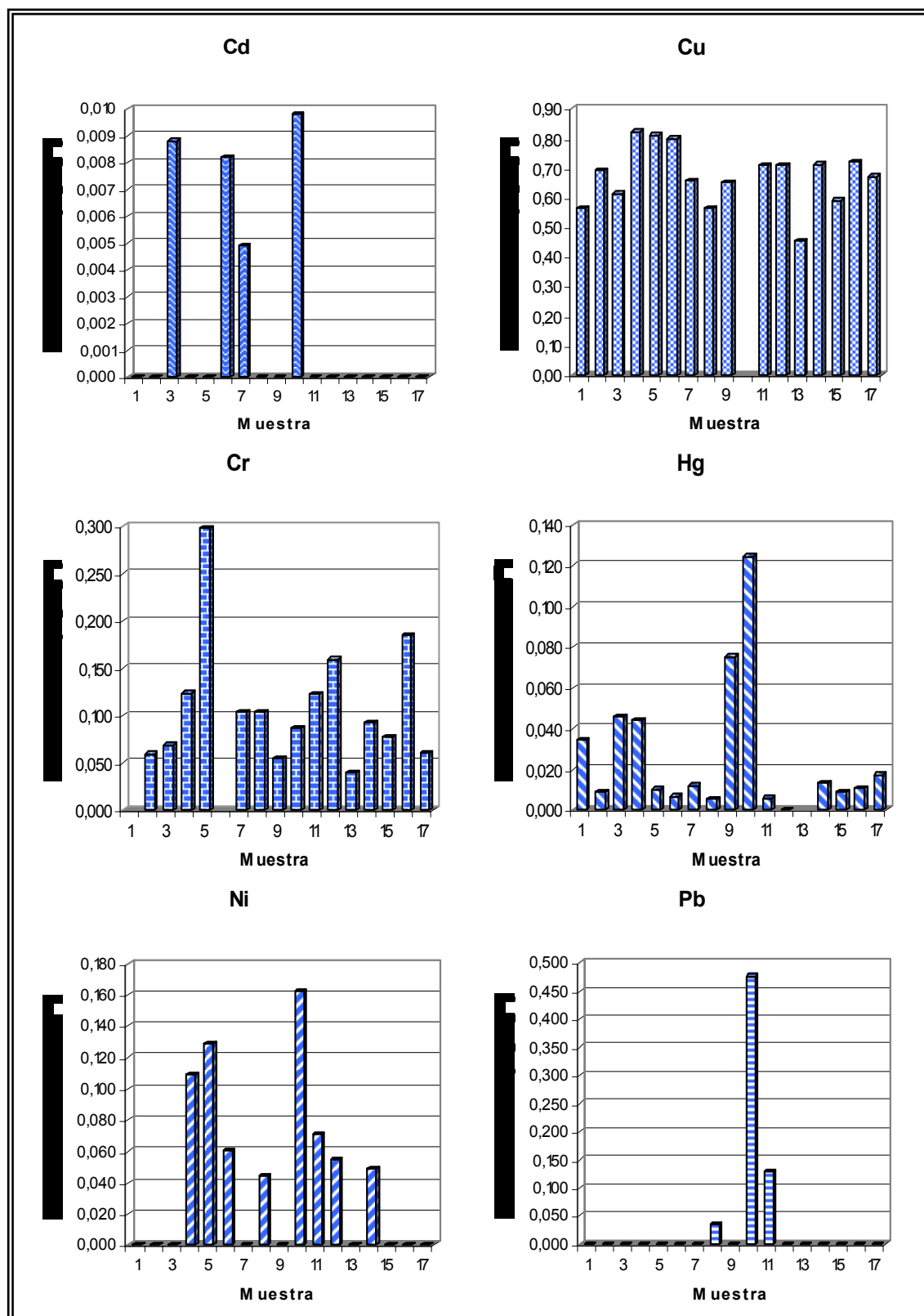


Figura 20. Concentraciones de Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en tejido de peces del Embalse Suata, Edo. Aragua (Muestreo: noviembre 2007 – abril 2008)

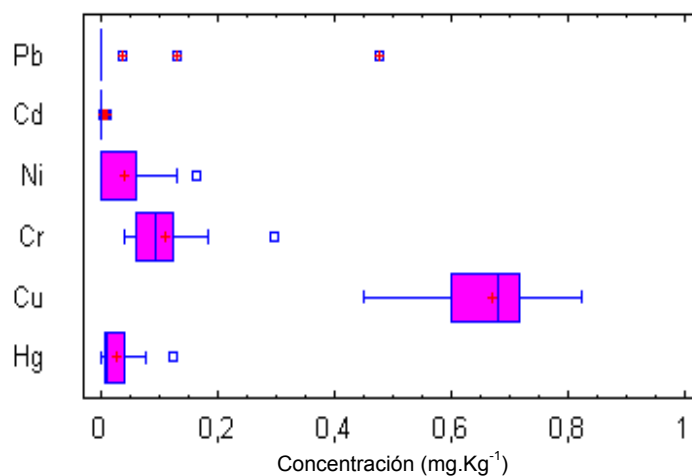


Figura 21. Diagramas de cajas y bigotes de los datos obtenidos en las muestras de tejidos de peces

Las concentraciones determinadas presentaron una dispersión muy grande, que se refleja en la desviación estándar obtenida para cada elemento. Esto es esperado, debido al tipo de muestra analizada, donde las concentraciones de cada elemento se ven afectadas por variables como peso, talla, ingesta de alimentos, origen de cada pez, entre otros. Un análisis de los resultados muestra que la distribución de concentraciones obtenidas no sigue, en su mayoría, una distribución normal, por lo que, en la Tabla 17 se muestra además del promedio, la mediana.

Tabla 17. Concentraciones de los metales en tejido de peces del Embalse Suata y valores reportados en las normas COVENIN

Elemento	Intervalo	Concentración Obtenida*		Concentración máxima reportada norma COVENIN		Codex
		Prom $\pm$ sd	med $\pm$ sd	Sardina ^[67]	Atún ^[68]	Alimentarius ^[66]
Cd	< LD-0,01	0,002 $\pm$ 0,004	<LD	0,5	0,1	2**
Cu	0,45-0,82	0,6 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,1	10	10	---
Cr	0,04-0,30	0,11 $\pm$ 0,06	0,09 $\pm$ 0,06	NR	NR	---
Hg	< LD -0,12	0,03 $\pm$ 0,03	0,01 $\pm$ 0,03	0,1	0,5	0,5***
Ni	< LD -0,16	0,04 $\pm$ 0,05	<LD	NR	NR	---
Pb	< LD -0,48	< LD $\pm$ 0,1	<LD	2	2	---

* Las concentraciones se expresan como $\bar{X} \pm$ sdv y como mediana $\pm$ sdv en mg Kg⁻¹ seco para 3 réplicas

** Concentración máxima expresada en mg Kg⁻¹ en moluscos marinos, bivalvos

*** Concentración máxima expresada en mg kg⁻¹ de Hg orgánico en pescado

NR: no reportado; < LD: menor al límite de detección del método

No se obtuvo información sobre la concentración típica de Cu en tejido de peces. Los valores de concentración obtenidos en las muestras recolectadas en el Embalse Suata, son menores que los reportados por Guzmán y col. (1993) ^[69] en tejido de Coporo y Caribes colectados en Laguna Grande, Edo. Monagas, donde encontraron valores entre 1,7 – 4,0 mg Kg⁻¹

En función de los resultados y los valores reportados en las normas COVENIN, puede decirse que el consumo de peces que habitan en el Embalse Suata, no representa riesgos de salud pública, por lo menos en lo que a contaminación por Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb se refiere.

5.4.2 Determinación de metales pesados en muestras de hígado

Se determinó la concentración de los metales pesados Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb en el hígado de los peces recolectados en el Embalse Suata. Los resultados obtenidos en las 17 muestras analizadas se muestran en el Apéndice 5 y en la Figura 22.

Se encontró el siguiente orden decreciente de concentraciones basado en las medianas obtenidas: Cu > Pb > Ni > Cd > Hg > Cr. En la Figura 23 se representa la dispersión de los resultados obtenidos. El intervalo de concentraciones, el promedio y la mediana de los datos se muestran en la Tabla 18.

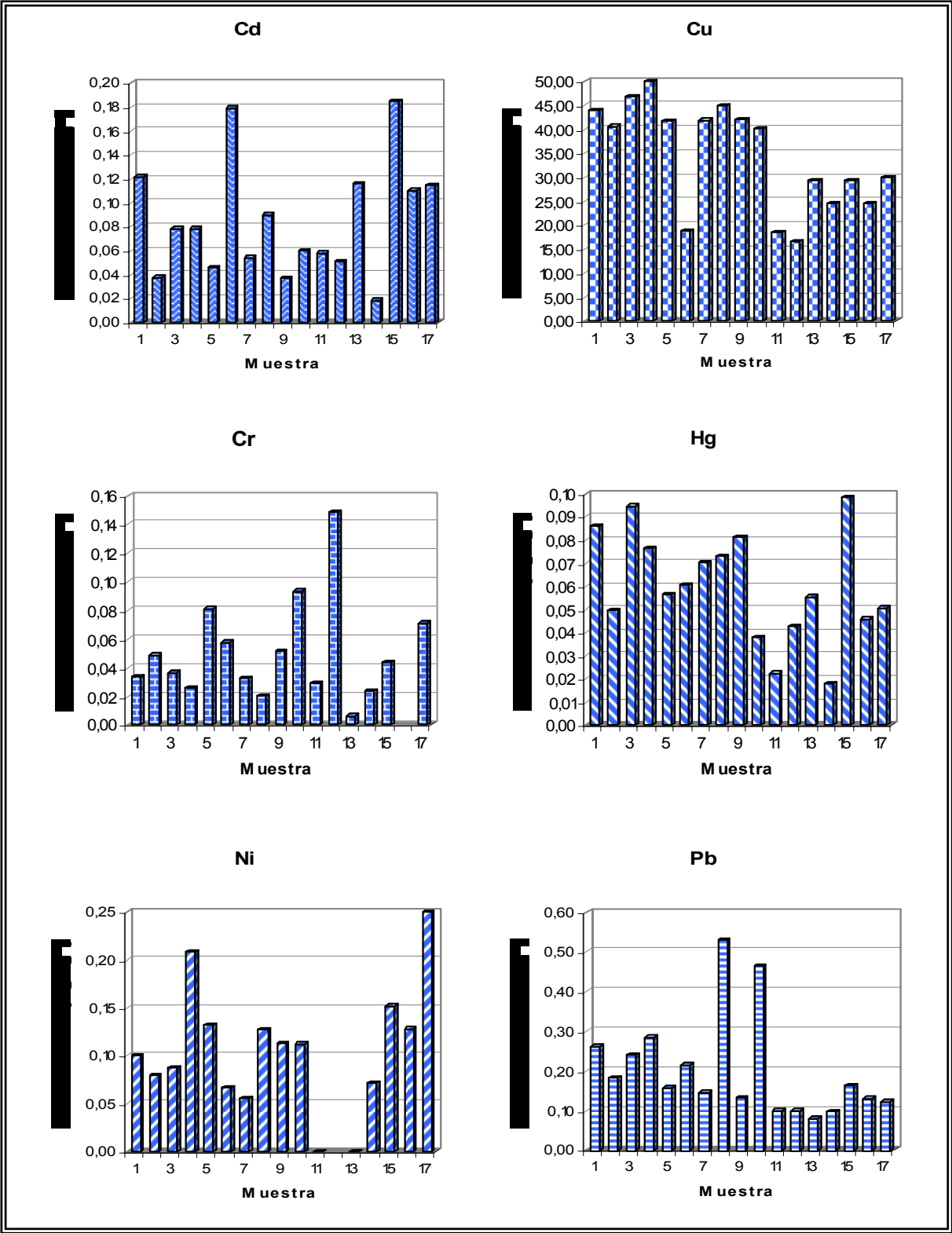


Figura 22. Concentración de metales pesados determinada en muestras de hígado de peces del Embalse Suata, Edo. Aragua.

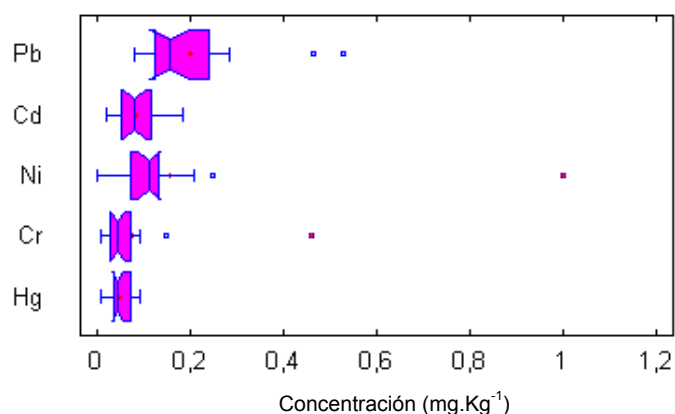


Figura 23. Diagrama de dispersión y de cajas y bigotes de los datos obtenidos en las muestras de hígado de peces

Como se muestra en la Tabla 18, el Cu es el elemento que presenta la mayor concentración en este tipo de muestra, al igual que en el tejido. Este análisis reveló además, tal como se muestra en la Figura 24, que la concentración de Cu en el hígado aumenta con el peso y el tamaño del pez, lo cual ocurre como consecuencia del proceso de bioacumulación que tiene lugar en los peces. Este resultado contrasta con el obtenido por Guzmán y col. (1993) ^[69], quienes no encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de Cu, con el peso y la talla del pez, posiblemente por las bajas concentraciones de Cu que éstos autores obtuvieron en sus muestras de coporo y caribe.

Tabla 18. Concentraciones de los metales en hígado de peces del Embalse Suata

Elemento	Concentración Obtenida*		
	Intervalo	Prom $\pm$ sd	Med $\pm$ sd
Cd	0,02 – 0,18	0,08 $\pm$ 0,005	0,08 $\pm$ 0,005
Cu	16 – 50	34 $\pm$ 11	40 $\pm$ 11
Cr	0,01 – 0,15	0,05 $\pm$ 0,03	0,04 $\pm$ 0,03
Hg	0,02 – 0,10	0,06 $\pm$ 0,02	0,06 $\pm$ 0,02
Ni	< LD – 0,25	0,10 $\pm$ 0,06	0,11 $\pm$ 0,06
Pb	0,1 – 0,5	0,2 $\pm$ 0,1	0,2 $\pm$ 0,1

* Las concentraciones se expresan en mgKg⁻¹ seco, como $\bar{X} \pm$ sdv y como mediana $\pm$ sdv para 2 réplicas
< LD: menor al límite de detección del método

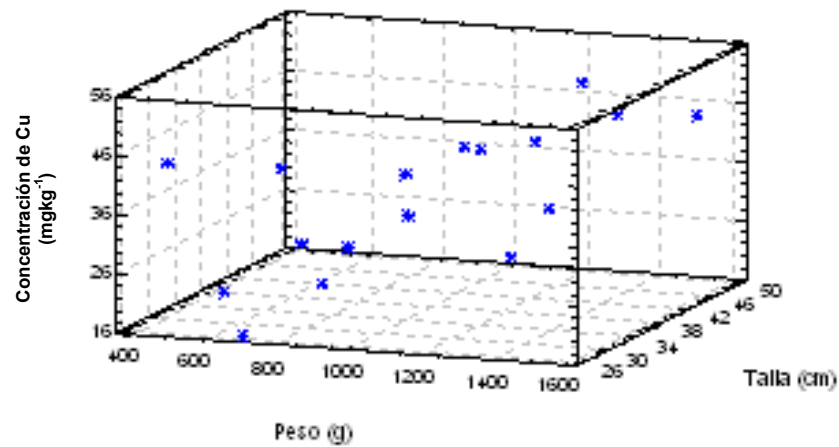


Figura 24. Concentraciones de Cu obtenidas en hígado y su relación con el peso y tamaño del pez

Otras correlaciones importantes arrojadas por el análisis estadístico se muestran en la Figuras 25 y 26, en las cuales se puede apreciar el aumento de la concentración de Hg y de Ni en el hígado con la talla del pez. Esto puede ser explicado nuevamente gracias al proceso de bioacumulación.

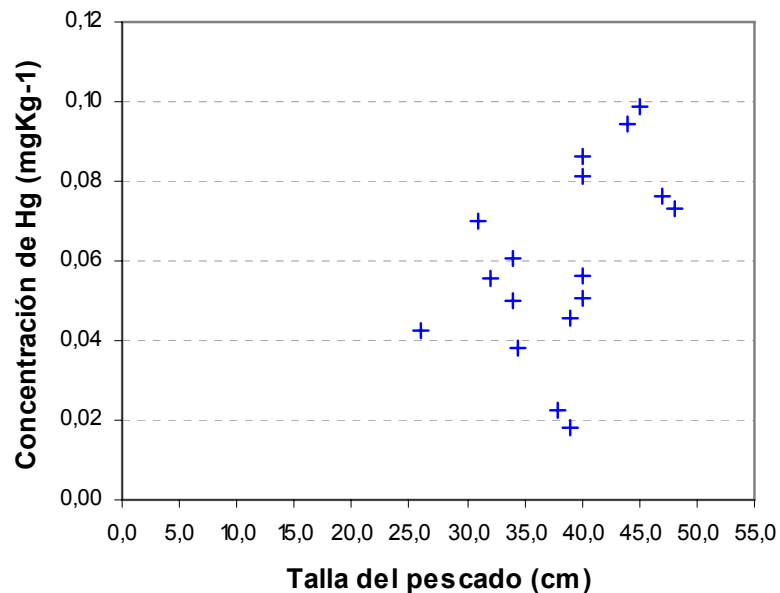


Figura 25. Relación de la concentración de Hg en hígado con la taller del pez

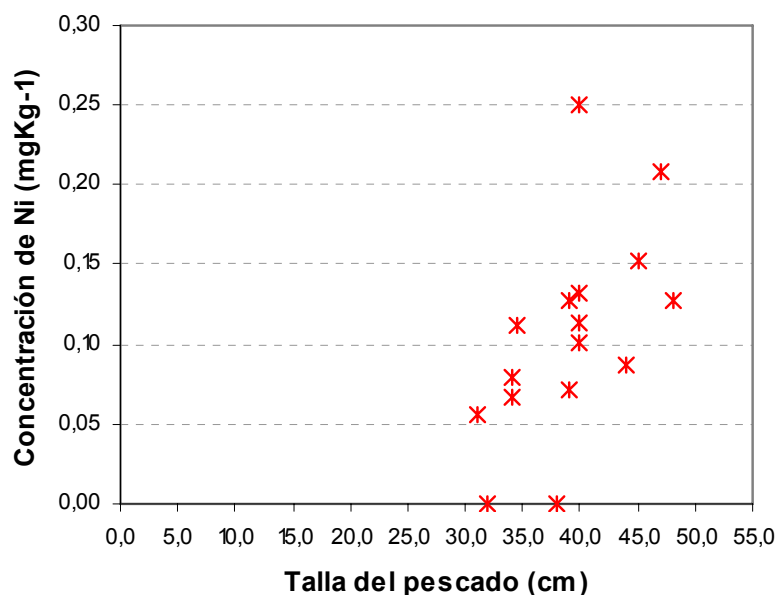


Figura 26. Concentración de Ni obtenida en hígado y su relación con la talla del pez

El incremento de las concentraciones de Cd, Cu, Hg, Ni y Pb en el hígado, coincide con los resultados obtenidos por Guzmán y col. (1993) ^[69] y por Mustafa y Gülüzar (2003) ^[70], quienes observaron que las mayores concentraciones de los metales se encontraban en el hígado de las especies de peces analizadas. Los elementos determinados en estos trabajos citados fueron Cu y Cd, Cu, Cr, Fe, Pb y Zn, respectivamente.

5.4.3 Comparación del contenido de metales obtenidos en las muestras de tejido e hígado de peces del Embalse Suata

Observando las concentraciones obtenidas de los elementos estudiados en el tejido e hígado de peces capturados en el Embalse Suata, se aprecia que los valores en hígado son mayores que en tejido (Figura 27). El Cr fue el único elemento que se encontró en mayor concentración en el tejido en lugar que en el hígado. Esta diferencia de concentraciones ocurre porque en los peces, al igual que en los

humanos, el hígado se comporta casi de la misma manera, hace de filtro de la sangre, sacando las impurezas y controlando el mando de la comida digerida ^[71].

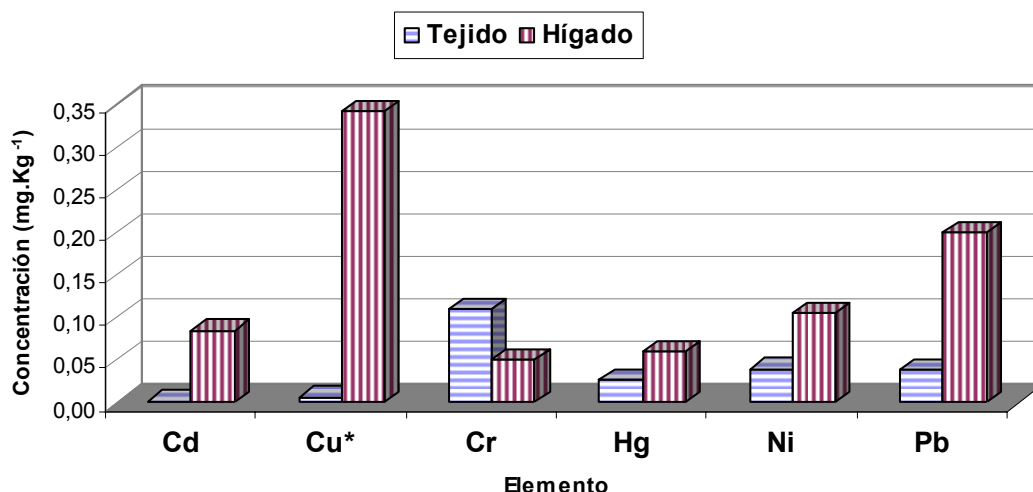


Figura 27. Concentraciones de los elementos estudiados en las muestras de tejido e hígado de peces del Embalse Suata

Al realizar el análisis de correlaciones, empleando el coeficiente de Spearman, no se encontraron diferencias significativas entre las concentraciones de Cr en el tejido e hígado. La fijación de los metales a las proteínas y la síntesis de este tipo de macromoléculas que tiene lugar en el hígado, son los fundamentos que explican esta diferencia apreciable pero no significativa, entre las concentraciones de los metales en tejido e hígado ^[70].

5.5. Relación de los resultados obtenidos para agua y peces del Embalse Suata con los obtenidos para sedimentos de este mismo embalse

Los resultados obtenidos en agua, tejido e hígado de peces del Embalse Suata, concuerdan con los obtenidos por González en el (2008) ^[72], quién realizó un estudio del estado ambiental de los sedimentos provenientes de este embalse, durante el mismo período de muestreo.

El estudio citado indica que los sedimentos no representan un riesgo ambiental para el cuerpo de agua ya que, de acuerdo al índice de geoacumulación (I_{geo}) determinado, a partir de las concentraciones totales de los elementos, se estableció que los sedimentos del Embalse Suata se clasifican de moderado a fuertemente contaminados con Cd, moderadamente contaminado con Zn y de no contaminados a moderadamente contaminados con Cu y Cr. Asimismo, basándose en la concentración de los elementos que se encuentran en la fracción intercambiable – carbonática y en el Código de Evaluación de Riesgos (RAC), encontró que las concentraciones de Ni y Cd, representan mediano y bajo riesgo, respectivamente, mientras que los otros elementos no presentan riesgo alguno.

Adicionalmente, el trabajo indica que, el riesgo que representa la presencia de estos elementos en los sedimentos para el cuerpo de agua, es importante solo bajo condiciones fisicoquímicas que favorezcan el intercambio.

En este caso, el intercambio no está favorecido, por razones de pH, y se evidencia en las bajas concentraciones de cada uno de los elementos determinados en el agua. La baja concentración de los elementos en el agua, también explica la baja concentración en los tejidos e hígados de los peces del embalse.

VI. CONCLUSIONES

- La temperatura del agua del Embalse Suata presentó cambios durante el muestreo de acuerdo a la estación climática. La entrada de agua del canal aductor y de la quebrada El Mamón producen un enfriamiento en la E1 en relación a la estación E2. Ambas estaciones presentaron temperaturas similares en el mes de febrero por el mezclado de las aguas.
- El pH del agua del Embalse Suata aumentó gradualmente entre los meses noviembre del 2007 y abril del 2008, producto del aumento de la fotosíntesis que ocurre al aumentar los nutrientes en el agua. Este aumento se observó correlacionado con el aumento de la conductividad, lo cual es explicado por el efecto de la concentración de los iones por la disminución del volumen de agua del embalse con la sequía.
- La concentración de Hg en el agua del embalse varió significativamente, disminuyendo con el mes de muestreo, como consecuencia de enriquecimiento de nutrientes (principalmente N y P), que se presume, presentan las aguas del embalse, esto avalado por la gran cantidad de plantas acuáticas encontradas, por las elevadas concentraciones de OD determinadas y por el aumento del pH observado.
- Se determinó que el agua del Embalse Suata, no presenta contaminación de metales pesados (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb) y que es apta para los destinos establecidos en el Decreto 3.219, que corresponden a la clasificación Tipo 2 y 4, debido a que no supera los valores límites correspondientes, reportados en el Decreto 883 para este tipo de agua. En todos los casos las concentraciones obtenidas estuvieron por debajo de los niveles máximos permitidos por la EPA para este sistema (fresh waters).

- Se comprobó que el consumo de peces provenientes del Embalse Suata, específicamente la especie analizada (*Hoplias malabaricus*), no presenta riesgo de salud pública, en relación a las concentraciones de los elementos Cd, Cu, Cr, Hg, Ni y Pb, las cuales se encuentran por debajo de las reportadas por las normas COVENIN 1087:1998 y 1716:1995.
- No se encontraron correlaciones interelementales en las muestras de tejido de peces, mientras que en el caso del hígado se encontraron correlaciones positivas entre la concentración de Cu con el peso y la talla y la concentración de Ni y de Hg con la talla de las especies estudiadas, estas. Estas correlaciones apuntan a la presencia de bioacumulación de metales.
- Las concentraciones de Cd, Cu, Hg, Ni y Pb obtenidas para el hígado de peces fueron mayores que las obtenidas en tejido de los mismos peces y la concentración de Cu en el hígado superó los valores reportados por las normas COVENIN para tejidos.
- Los resultados obtenidos en el análisis de aguas y peces del Embalse Suata, se corresponden con los obtenidos para el análisis de sus sedimentos, en un estudio realizado por González ^[72] durante el mismo período de muestreo, los cuales mostraron que los sedimentos del embalse no representan un riesgo para las aguas y la vida acuática.

VII. RECOMENDACIONES

- En el análisis de las muestras de peces, resulta conveniente realizar una clasificación por peso o talla, de ésta manera se garantiza una menor dispersión en los resultados. Para ello es vital el aumento del número de capturas.
- Extender la duración del muestreo, para determinar si existe alguna diferencia significativa en las concentraciones de los elementos durante los meses de sequía y de lluvia.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Wikipedia. "La contaminación". Información disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Contaminaci%C3%B3n>. Consulta realizada en febrero del 2008.
- [2] El-demerdash F. M. & Elegamy E. I., (1996), "**Biological Effects in *Tilapia nilotica* fish as indicators of pollution by cadmium and mercury**", *International Journal of Environmental Healthy Research*, 9, 173-186.
- [3] Storelli M. M., Marcotrigiano G. O., (2004), "**Content of mercury and cadmium in fish (*thunnus alalunga*) and cephalopods (*Eledone moschata*) from the south-eastern Mediterranean Sea**", *Food additives and contaminants*, 21, 1051-1056.
- [4] **Environmental Protection Agency EEUU.** Disponible en: http://www.epa.gov/safewater/wot/pdfs/book_waterontap_enespanol_full.pdf. Consulta realizada: junio del 2007.
- [5] Kalay M., CAnli M., (1990), "**Heavy metal concentrations in fish tissue from the northeast Mediterranean Sea**", *Bull Environ. Contamination Toxicology*, 63, 673-681.
- [6] Onlu E., Gümgüm B., (1993), "**Concentration of copper and zinc in fish and sediments from the Tigris river in Turkey**". *Chemosphere*, 26, 2055-2061.
- [7] Hadson P. V., (1998), "**The effects of metal metabolism uptake, disposition and toxicity in fish**". *Aquatic Toxicology*, 11, 3-18.
- [8] Kargin F., (1996), "**Effects of EDTA on accumulation of cadmium in *Tillapia zilli***", *Turkish J. Zool.*, 20, 419-425.
- [9] Holcombe G. W., Benoit D. A., Leonard E. N., Mckim J. M., (1976), "**Longterm affects of lead exposure on three generations of brook trout, *Salvalinus fontinalis* J. fish**", *Res. Board. Can.*, 33, 1731-1741.
- [10] Barias N., (1999), "**A pilot study of heavy metal concentration in various environments and fishes in the upper Sakarya river basin Turkey**". *Environmental Toxicology*, 14, 367-373.
- [11] Haeng-Shin L. (2006), "**Dietary exposure of the Korean population to arsenic, cadmium, lead and mercury**", *Journal of food Composition and Analysis*, 19, S3 -S37.
- [12] **Environmental Protection Agency EEUU.** Disponible en: <http://www.epa.gov/mercury/exposure.htm#content#conntent>. Consulta realizada en Diciembre 2007.
- [13] Aschner M., (2002), "**Neurotoxic mechanism of fish-borne methyl mercury**", *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 12, 101-104.

- [14] Schultz J. R., Peters E. L., Newman M. C., (1996), **"Toxicokinetics and disposition of inorganic mercury and cadmium in channel catfish after intravascular administration"**, *Toxicology. Appl. Pharm.*, 140, 39-50.
- [15] Zelikoff J. T., (1993), **"Metal pollution- induced immunomodulation in fish"**. *Ann. Rev. Fish Dis.*, 2, 91-108.
- [16] Cattani O., Serra R., Jsani G., Raggi G. P., Carpena E., (1996), **"Correlation between metallothionein and energy metabolism in sea bass, *Dicentrarchos labrax*, exposed to cadmium"**, *Comparat. Biochem. Physiol.*, 113, 193-199.
- [17] Lemaire-Gony S., Lemaire P., (1992), **"Interactive effects of cadmium and benzo(a)pirene on cellular structure and biotransformation enzymes of the liver of the European eel, *Anguilla anguilla*"**, *Aquat. Toxicol.*, 22, 145- 160.
- [18] Tarrio J., Jaffor M. & Ashraf M., (1991), **"Levels of selected heavy metals in commercial fish from five freshwaters lake Pakistan"**, *Toxicology and Environmental Chemistry*, 33, 133-140.
- [19] Environmental Protection Agency, **"Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish Advisories. Vol. 2. Risk assessment and fish consumption limits"**, Third edition.
- [20] Chen C. Y., Folt C. L., (2000), **"Bioaccumulation and diminution of arsenic and lead in a freshwater food web"**, *Environmental Science Technology.*, 34, 3878-3884.
- [21] Giesy J. P., Wiener J. G., (1997), **"Frequency distributions of trace metal concentration in five freshwater fishes"**, *Trans. Am. Fish Soc.*, 106, 393-403.
- [22] Dethloff G. M., Bailey H. C., Maier K. J., (2004), **"Effects of dissolved copper on select haematological, biochemical and immunological parameters of wild rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*"**, *Arch. Environ. Contam. Toxicology*, 40, 371-380.
- [23] Mclead J. C., Pessah E., (1973), **"Temperature effects on mercury accumulation, toxicity and metabolic rate in rainbow trout, *Salmo gairdneri*, J. Fish"**, *Res. Board Can.*, 30, 485-492.
- [24] Wepener V., Vanvuren J. H. J., Duprezz H. H., (1992), **"Effect of manganese and iron at a neutral an acid pH on the haematology of the banded *Tilapia*. *Tilapia saparrmanii*"**, *Bull. Environ. Contam. Toxicology*, 49, 613-619.
- [25] Decreto 883, *Gaceta Oficial Extraordinaria*: 5.021 del 28 de diciembre de 1995.
- [26] Decreto 3.219, **"Normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia"**. *Gaceta Oficial Extraordinaria* 5.305 del 1de febrero de 1999.

- [27] Environmental Protection Agency. "Water Quality Standards handbook", Second Edition. Appendixes A.
- [28] Yilmaz A., (2003), "**Levels of heavy metals (Fe, Cu, Ni, Cr, Pb and Zn) in tissues of *Mugil cephalus* and *Tachurus mediterraneus* from Iskenderun Bay, Turkey**", *Environmental Research.*, 92, 277-281.
- [29] Mansour S., Sidky M., (2002), "**Ecotoxicological studies. 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Governorate, Egypt**", *Food Chemistry*, 78, 15-22.
- [30] Gallindo D., Mesquita M., Azzolin V., Welz B. and Curtius A., (2003), "**Cloud point extraction for the determination of Cd, Pb and Pd in blood by electro thermal atomic absorption spectrometry, using Ir or Ru as permanent modifiers**", *Journal of Analytical Spectrometry*, 18, 501–507.
- [31] De Mora S., Foluler S., Wyse E., Azeamrd S., (2004), "**Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman**", *Marine Pollution Bulletin*, 49, 410-424.
- [32] Storelli M., Marcotrigiano G., (2004), "**Content of mercury and cadmium in fish (*thunnus alalunga*) and cephalopods (*Eledone moschata*) from the south-eastern Mediterranean Sea**". *Food Additives and Contaminants*, 21, 1051-1056.
- [33] Dalman Ö., Demirak A., Balci A., (2006), "**Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the South-eastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry**", *Food chemistry*, 95, 157-162.
- [34] Gammons C., Slotton D., Gerbrandt B., Weight W., Young C., McNearny R., Cámac E., Calderón R., Tapia H., (2006), "**Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru**", *Science of the Total Environment*, 368, 637-648.
- [35] Christensen A., Nakajima F., Baun A., (2006), "**Toxicity of water and sediment in a small urban river (Store Vejgård, Denmark)**". *Environmental Pollution*, xx, 1-5.
- [36] Demirak A., Yilmaz F., Tuna A., Ozdemir N., (2006), "**Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey**", *Chemosphere*, 63, 1451-1458.
- [37] Christoforidis A., Stamatis N., Schmieder K., Tsachalidis E., (2007), "**Organochlorine and mercury contamination in fish tissues from the River Nestos, Greece**", *Chemosphere*.

- [38] **“Standard Methods for the examination of water and wastewater”**, (1995), 19th Edition.
- [39] Leal G., Iván A., (1992), **“Contaminación por hidrocarburos, metales y organoclorados en el Litoral Barloventeño y Morrocoy”**, TEG, Universidad Simón Bolívar.
- [40] Guzmán R., Reyes A., Barreto M., Gómez G., (1993), **“Contenido de cobre en el Coporo (*Prochidolus manoe*) y en el Caribe (*Serrasalmus rhombeus*) de Laguna Grande, Estado Monagas”**, *Zootecnia Tropical*, 11, 59-69.
- [41] Benzo A. Diana C., (2001), **“Estudio Ambiental de la distribución granulométrica de metales pesados en sedimentos del Lago de Maracaibo”**, TEG, Universidad Central de Venezuela.
- [42] Castillo J., Martínez G., Acosta V., Núñez M., (2005), **“Niveles pesados de metales en gónadas y músculo aductor del mejillón, *Perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, Estado Sucre, Venezuela”**, *Zootecnia Tropical*, 23, 141-154.
- [43] Boada M., Marcano J., Moreno N., Gil H., Maza J., (2007), **“ Metales pesados (Cu^{+2} , Cd^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2}) en músculo y cefalotórax de camarones silvestres (*Litopenaeus schmitti*; *farfantepenaeus subtilis*, *f. notialis* y *f. brasiliensis*) de la región oriental de Venezuela”**, *Revista Científica*, XVII, 186-192.
- [44] Espiño L. Rosa, (1989), **“Cronología de metales pesados, Fosfatos e Hidrocarburos Alifáticos en Núcleos de Sedimento del Lago de Valencia”**, TEG, Universidad Simón Bolívar.
- [45] Benitez O., Fidel A., (1991), **“Geoquímica orgánica de Sedimentos del Lago de Valencia”**, TEG, Universidad Simón Bolívar.
- [46] Haussmann P., karen B., (1992), **“Geoquímica orgánica de la fracción Lipídica de un núcleo de sedimentos del Lago de Valencia”**, TEG, Universidad Simón Bolívar.
- [47] López L., Lo Mónaco S., Infante R. y Bifano C., (1998), **“Interacción entre la materia orgánica y Sedimentos del Lago de Valencia, Venezuela”**, TEG, Universidad Central de Venezuela.
- [48] Mogollon J. Bifano C., (2000), **“Tracking the metal distribution in the tropical Valencia Lake catchment: Soils, river and Lake”**, *Environmental Geochemistry and Health*, 22, 131-153.
- [49] Sistema de Información Geográfica del Estado Aragua (SIGA). **“Usos de las Tierras del Estado Aragua”**, Información disponible en:

http://siga.sian.info.ve/htdocs/index2.php?MAP_NAME=uso.map&Linderos_del_Estado=Y&Terreno=S&Lagos_y_Lagunas=S&Municipios=S&Rios=S&Bosques_siempreverdes=S&Area_urbana=S&Agricultura_intensiva=S&Proyecto=Uso%20de%20la%20tierra.

Consulta realizada en Enero 2008.

- [50] Mezzana N., (1998), “**Propuesta de uso sostenible de la cuenca del Lago de Valencia**”. *Fundacite Aragua*. Expediente: 1998- PPA-02-09-01-1.
- [51] Méndez R., Monteverde M., Valles A., (2005), “**Evaluación del impacto ambiental en el uso de las aguas residuales vertidas en el sistema de riego Taiguaiguay**”. *Fundacite Aragua*. Expediente: FCT-01-17-2-1.
- [52] MARN- JICA, (2000), “**Estudio Integral de los tributarios en la cuenca del Lago de Valencia**”.
- [53] Sistema de Información Geográfica del Estado Aragua (SIGA). “**Hidrografía del estado Aragua**”, Información disponible en: http://siga.sian.info.ve/htdocs/index2.php?MapSize=550%2C400&PREVIOUS_MODE=1&Linderos_del_Estado=Y&Lagos_y_Lagunas=Y&Quebradas=Y&Rios=Y&Municipios=Y&ViewRegion=Seleccione+una+vista&minx=613000.000000&miny=1090500.000000&maxx=720937.500000&maxy=1169000.000000&imagewidth=550&imageheight=400&CMD=ZOOM_IN&KEYMAPXSIZE=120&KEYMAPYSIZE=90&CMD=ZOOM_IN&MAP_NAME=hidrologia.map&Proyecto=Hidrografia&redraw.x=15&redraw.y=8, Consulta realizada en enero del 2008.
- [54] Castillo C., Gómez J. y Montes C., (1973), “**Embalses de Venezuela. El Agua**”, 1, 177-180.
- [55] Ginez A. y Olivo M. L., (1984), “**Inventarios de los embalses con información básica para la actividad piscícola. I Sinopsis de los embalses administrados por el MARNR.**” Ministerios del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. *Serie Informes Técnico DGSPOA/IT/183*. Caracas, 142 p.
- [56] Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar, “**Mapa cartográfico de una sección del estado Aragua**”, Información disponible en: http://www.igvsb.gov.ve/site2007/index.php?option=com_content&task=view&id=96&Itemid=138, Consulta realizada en enero del 2008.
- [57] The THGA Grafito furnace: **Techniques and recommended conditions**. Perkin Elmer. Part number B050-5538. Publication B3210-10
- [58] Alzualde Z., (2008), “**Estudio de la preconcentración de metales mediante extracción en el punto de niebla (Cloud Point Extraction CPE) y su aplicación al análisis de aceites comestibles**”, TEG, Universidad Central de Venezuela.

- [59] Límites de detección del FIMS-100. Perkin Elmer. Información disponible en: <http://las.perkinelmer.com/Catalog/ProductInfoPage.htm?ProductID=B0509550> Consulta realizada en Octubre del 2008.
- [60] Perkin Elmer, **“The THGA graphite furnace: Techniques and recommended conditions”**. Part number B050-5538, Publication B3210.10
- [61] Lenntech, **“Dióxido de Carbono”**. Información disponible en: <http://www.lenntech.com/espanol/di%C3%B3xido%20de%20carbono.htm> Consulta realizada en octubre del 2008.
- [62] Ciencias de la tierra y del medio ambiente, **“Eutrofización”**, libro electrónico disponible en: http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/150_Eutro.htm Consulta realizada en octubre del 2008.
- [63] Universidad Complutense de Madrid, **“Aspectos ambientales. Contaminación de ríos y lagos”**. Información disponible en: http://www.ucm.es/info/diciex/proyectos/agua/contaminacion_riosylagos.html. Consulta realizada en octubre del 2008.
- [64] Doadrio V. Antonio L., **“Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio”** Real Academia Nacional de Farmacia. Información disponible en: <http://www.ranf.com/pdf/arti/mercurio.pdf>. Consulta realizada en octubre del 2008.
- [65] Tacon, A. G. I., (1989), **“Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados. Manual de capacitación”**. Project reports – No 4. pp 592.
- [66] Codex Alimentarius, “Norma general de codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos”, Codex Stan 193-1995. Rev 3-2007.
- [67] Norma venezolana CONVENIN 1087, (1998), **“Sardinas en conserva”**. 5ta Revisión.
- [68] Norma venezolana CONVENIN 1766, (1995), **“Atún en conserva”**. 3ra Revisión.
- [69] Guzmán R., Reyes A., Barretom M. y Gómez G., (1993), **“Contenido de cobre en coporo (*Prochilodus manae*) y en el caribe (*Serrasalmus rhombeus*) de Laguna Grande, Edo. Monagas”**. Zootecnia tropical, 11(1): 59-69.
- [70] Mustafa C. y Gülüz A., (2003), **“Concentration of heavy metals (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb and Zn) in three different tissues of six species of fish from northeast of Mediterranean Sea”**. Environmental pollution; 121(1): 129-136.
- [71] Estanques y peces, **“Peces en estanques – Anatomía del Koi”**. Información disponible en: http://www.estanquesypeces.com/peces/anatomia_koi.htm. Consulta realizada en octubre del 2008.
- [72] González H. Yorbin J., (2008), **“Estudio del estado ambiental de los sedimentos del Embalse Suata, Edo. Aragua”**. TEG, Universidad Central de Venezuela.

APÉNDICES

Apéndice 1. Tabla resumen de las muestras recolectadas en cada mes de muestreo

Mes	Estación	Profundidad	Recolectada	Peces Recolectados
nov-07	E1	0 3	✓ ✓	3
	E2	0 5	✓ ✓	
dic-07	E1	0 3	✓ ✓	4
	E2	0 5	✓ ✓	
ene-08	E1	0 3	✓ ✓	4
	E2	0 5	✓ ✓	
feb-08	E1	0 3	✓ ✓	3
	E2	0 5	✓ ✓	
mar-08	E1	0 3	✓ ✓	3
	E2	0 5	✓ ✓	
abr-08	E1	0 3	✓ ✓	0
	E2	0 5	✓ ✓	

Total muestras de agua recolectada = 24

Total peces recolectados = 17

Apéndice 2. Parámetros fisicoquímicos del embalse y concentraciones de los elementos en las muestras

Muestreo	Estación	Muestra	Prof. (m)	Temp. (°C)	OD (mg/L)	Cond. (µS/cm)	pH	Transparencia (m)	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
NOV 2007	E1	1	0	25,50	7,708	599	8,0	0,6	1,4 ± 0,4	0,1 ± 0,0	1 ± 1	<LD	2,0 ± 0,2	0,2 ± 0,0
		2	3	25,00	6,392	605	7,8	---	0,8 ± 0,8	0,15 ± 0,07	1,25 ± 0,07	<LD	4,4 ± 0,4	0,275 ± 0,009
	E2	3	0	27,20	13,160	596	8,4	0,4	15,0 ± 0,3	<LD	0,6 ± 0,8	1 ± 0	0,6 ± 0,2	0,24 ± 0,00
		4	5	26,10	9,024	606	8,2	---	<LD	<LD	0,8 ± 0,8	<LD	1 ± 0	0,4 ± 0,2
DIC 2007	E1	5	0	24,20	5,260	610	8,3	0,5	12,5 ± 0,6	<LD	1,4 ± 0,6	0,55 ± 0,07	1,65 ± 0,07	0,9 ± 0,1
		6	3	23,60	4,230	612	8,2	---	<LD	<LD	1,1 ± 0,3	<LD	<LD	<LD
	E2	7	0	25,40	5,730	614	8,6	0,6	<LD	<LD	0,4 ± 0,4	<LD	<LD	<LD
		8	5	24,60	4,510	618	8,4	---	<LD	<LD	1,2 ± 0,2	<LD	<LD	0,16 ± 0,00
ENE 2008	E1	9	0	23,00	7,426	609	8,3	0,6	<LD	<LD	<LD	0,9 ± 0,0	<LD	0,16 ± 0,08
		10	3	22,80	6,016	611	8,2	---	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,26 ± 0,00
	E2	11	0	24,30	8,178	617	8,5	0,5	0,2 ± 0,5	<LD	<LD	<LD	0,15 ± 0,07	0,11 ± 0,00
		12	5	24,10	7,520	620	8,4	---	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD	0,13 ± 0,00
FEB 2008	E1	13	0	23,00	7,614	636	8,4	0,4	5,35 ± 0,07	<LD	<LD	<LD	<LD	<LD
		14	3	22,90	7,614	639	8,4	---	1,6 ± 0,8	<LD	<LD	0,1 ± 0,0	3,0 ± 0,2	<LD
	E2	15	0	23,60	7,990	632	8,5	0,4	1,2 ± 0,4	<LD	<LD	0,05 ± 0,07	<LD	<LD
		16	5	23,50	7,420	633	8,5	---	0,7 ± 0,0	<LD	<LD	0,05 ± 0,07	0,25 ± 0,07	0,17 ± 0,06
MAR 2008	E1	17	0	22,80	8,080	648	8,6	0,5	0,6 ± 0,3	<LD	<LD	0,05 ± 0,07	1,1 ± 0,1	<LD
		18	3	22,80	8,080	649	8,6	---	0,7 ± 0,7	<LD	1,9 ± 0,3	0,1 ± 0,0	3,4 ± 0,4	<LD
	E2	19	0	22,80	8,366	644	8,6	0,4	25,2 ± 0,6	<LD	1,65 ± 0,07	0,5 ± 0,0	1,6 ± 0,0	<LD
		20	4	---	---	---	8,5	---	<LD	<LD	<LD	<LD	0,8 ± 0,2	<LD
ABR 2008	E1	21	0	23,70	7,238	651	8,5	0,6	2,35 ± 0,07	<LD	<LD	2,0 ± 0,4	0,8 ± 0,7	<LD
		22	3	23,40	6,298	658	8,3	---	<LD	<LD	<LD	<LD	2 ± 3	<LD
	E2	23	0	25,10	7,990	650	8,6	0,6	3 ± 7	0,05 ± 0,07	6 ± 8	1 ± 1	38 ± 54	<LD
		24	3	---	---	---	8,4	---	<LD	<LD	0,4 ± 0,4	0,3 ± 0,3	3 ± 3	<LD

Las concentraciones están expresadas en µg L⁻¹

Apéndice 3. Resultado del análisis de correlaciones realizado a las muestras de agua (parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los elementos)

Ox D	Conductividad	pH		
Muestreo				
0,2225	0,9446	-0,2327 0,6140 (17)	-0,1101 (17)	-0,7881 (17)
(17)	(17)	(17)		
0,3906	0,0000	0,3688 0,0087	0,6741	0,0002
Estación	-0,2327		0,2581	0,4894
0,0960	-0,1909 (17)	0,3785	(17)	(17)
(17)	(17)	(17)		
0,7139	0,3688 0,4629	0,1341	0,3171	0,0462
Profundidad	-0,1101	0,2581		0,1284
-0,2184	-0,0009 (17)	-0,1638 (17)		(17)
(17)	(17)	(17)		
0,3998	0,6741 0,9972	0,3171 0,5300		0,6233
Temperatura	-0,7881	0,4894	0,1284	
-0,0127	-0,6469 (17)	-0,3965 (17)	(17)	
(17)	(17)	(17)		
0,9615	0,0002 0,0050	0,0462 0,1151	0,6233	
Ox D	0,2225	0,0960	-0,2184	-0,0127
0,1936	0,2027 (17)	(17)	(17)	(17)
(17)	(17)			
	0,3906	0,7139	0,3998	0,9615

Apéndice 3. Resultado del análisis de correlaciones realizado a las muestras de agua (parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los elementos). Continuación

0,4565	0,4352			
Conductividad	0,9446	-0,1909	-0,0009	-0,6469
0,1936		0,6008		
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,0000	0,4629	0,9972	0,0050
0,4565		0,0108		
pH	0,6140	0,3785	-0,1638	-0,3965
0,2027	0,6008			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,0087	0,1341	0,5300	0,1151
0,4352	0,0108			
Pb_1	0,1773	-0,2854	-0,3523	-0,2378
0,2629	0,2328	0,0197		
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,4961	0,2668	0,1655	0,3580
0,3079	0,3686	0,9403		
Cd_1	-0,5214	-0,2988	-0,0771	0,4444
-0,0363	-0,4468	-0,7877		
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,0318	0,2440	0,7686	0,0739
0,8899				
0,0722	0,0002			
Ni_1	-0,3604	-0,1203	0,3056	0,3082
-0,2929	-0,1841	-0,2521		
	(17)	(17)	(17)	(17)

Apéndice 3. Resultado del análisis de correlaciones realizado a las muestras de agua (parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los elementos). Continuación

(17)	(17)	(17)		
	0,1553	0,6455	0,2330	0,2288
0,2539	0,4793	0,3290		
Cr_1	0,0683	-0,2367	-0,2709	-0,3018
0,1350	-0,1206	0,0215		
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,7944	0,3604	0,2929	0,2392
0,6055	0,6448	0,9349		
Cu_1	0,0429	-0,4954	0,1250	0,0463
0,1809	0,1908	-0,3984		
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,8703	0,0432	0,6326	0,8598
0,4873	0,4632	0,1132		
Hg_1	-0,6671	0,1979	0,4063	0,5750
0,1652	-0,6813	-0,6152		
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,0034	0,4464	0,1055	0,0157
0,5264	0,0026	0,0086		
	Pb_1	Cd_1	Ni_1	Cr_1
Cu_1				
Hg_1				

Muestreo	0,1773	-0,5214	-0,3604	0,0683
0,0429	-0,6671			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,4961	0,0318	0,1553	0,7944

Apéndice 3. Resultado del análisis de correlaciones realizado a las muestras de agua (parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los elementos). Continuación

0,8703	0,0034			
Estación	-0,2854	-0,2988	-0,1203	-0,2367
-0,4954	0,1979			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,2668	0,2440	0,6455	0,3604
0,0432	0,4464			
Profundidad	-0,3523	-0,0771	0,3056	-0,2709
0,1250	0,4063			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,1655	0,7686	0,2330	0,2929
0,6326	0,1055			
Temperatura	-0,2378	0,4444	0,3082	-0,3018
0,0463	0,5750			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,3580	0,0739	0,2288	0,2392
0,8598	0,0157			
Ox D	0,2629	-0,0363	-0,2929	0,1350
0,1809	0,1652			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,3079	0,8899	0,2539	0,6055
0,4873	0,5264			
Conductividad	0,2328	-0,4468	-0,1841	-0,1206
0,1908	-0,6813			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,3686	0,0722	0,4793	0,6448

0,4632

0,0026

Apéndice 3. Resultado del análisis de correlaciones realizado a las muestras de agua (parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los elementos). Continuación

pH	0,0197	-0,7877	-0,2521	0,0215
-0,3984	-0,6152			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,9403	0,0002	0,3290	0,9349
0,1132	0,0086			
Pb_1		0,0881	-0,1668	-0,1273
0,0533	-0,2685			
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
		0,7367	0,5222	0,6263
0,8391	0,2974			
Cd_1	0,0881		0,3581	-0,1254
0,6244	0,4048			
(17)	(17)		(17)	(17)
	0,7367		0,1581	0,6316
0,0074		0,1070		
Ni_1	-0,1668	0,3581		-0,1677
0,4702				
0,1469	(17)	(17)		(17)
(17)	(17)			
	0,5222	0,1581		0,5199
0,0568	0,5736			
Cr_1	-0,1273	-0,1254	-0,1677	
-0,1145	0,0241			
	(17)	(17)	(17)	

Apéndice 3. Resultado del análisis de correlaciones realizado a las muestras de agua (parámetros fisicoquímicos y concentraciones de los elementos). Continuación

(17)	(17)			
	0,6263	0,6316	0,5199	
0,6617	0,9269			
Cu_1	0,0533	0,6244	0,4702	-0,1145
0,0641				
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,8391	0,0074	0,0568	0,6617
0,8070				
Hg_1	-0,2685	0,4048	0,1469	0,0241
0,0641				
(17)	(17)	(17)	(17)	(17)
	0,2974	0,1070	0,5736	0,9269
0,8070				

Esta tabla muestra el intervalo de correlaciones de Spearman entre cada par de variables. Estos coeficientes de correlación oscilan entre -1 y +1 y miden la fuerza de la asociación entre las variables. En contraste con las correlaciones de Pearson, los coeficientes de Spearman se calculan a partir de las filas de los valores de los datos y no a partir de los valores propios. En consecuencia, son menos sensibles a los valores anómalos. También se indica entre paréntesis el número de pares de valores de datos utilizados para calcular cada coeficiente. El tercer número en cada lugar de la tabla es un valor-P que dan las pruebas de significación estadística de la estimación de correlaciones. Valores-P por debajo de 0,05 indican estadísticamente una correlación significativa diferente de cero, a un 95% de confianza.

Apéndice 4. Características físicas de los peces recolectados en el Embalse Suata y concentraciones de los elementos determinados en las muestras de tejido

Muestreo	Pescado	Peso (g)	Talla (cm)	Sexo	Especie	Muestra	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
NOV 2007	1	1250	40,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	M1	<LD	<LD	<LD	0,7±0,2	0,6±0,1	0,034±0,002
	2	1000	34,0	H		M2	<LD	<LD	<LD	0,06±0,01	0,69±0,05	0,009±0,002
	3	1400	44,0	H		M3	<LD	0,009±0,002	<LD	0,07±0,01	0,61±0,08	0,04±0,02
DIC 2007	4	1250	47,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	M4	<LD	<LD	0,11±0,09	0,124±0,006	0,82±0,04	0,04±0,03
	5	1100	40,0	H		M5	<LD	<LD	0,13±0,03	0,30±0,02	0,81±0,03	0,010±0,002
	6	500	34,0	H		M6	<LD	0,008±0,002	0,06±0,02	0,52±0,04	0,80±0,03	0,007±0,002
	7	400	31,0	H		M7	<LD	0,0049±0,0001	<LD	0,10±0,02	0,66±0,08	0,012±0,002
ENE 2008	8	1550	48,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	M8	0,035±0,002	<LD	0,04±0,02	0,10±0,02	0,56±0,09	0,005±0,002
	9	1050	40,0	H		M9	<LD	<LD	<LD	0,05±0,01	0,65±0,05	0,08±0,06
	10	650	34,5	H		M10	0,48±0,08	0,010±0,005	0,16±0,02	0,0872	1,4±0,4	0,12±0,04
	11	700	38,0	H		M11	0,13±0,02	<LD	0,07±0,02	0,12±0,01	0,7±0,2	0,0058±0,0005
FEB 2008	12	700	26,0	H	<i>Petenia splendida</i>	M12	<LD	<LD	0,05±0,02	0,16±0,03	0,7±0,1	<LD
	13	750	32,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	M13	<LD	<LD	<LD	0,040±0,008	0,45±0,04	0,418±0,002
	14	1200	39,0	H		M14	<LD	<LD	0,05±0,02	0,09±0,02	0,7±0,1	0,014±0,003
MAR 2008	15	1200	>40	M	<i>Hoplias malabaricus</i>	M15	<LD	<LD	<LD	0,08±0,01	0,59±0,03	0,009±0,001
	16	750	39,0	H		M16	<LD	<LD	<LD	0,18±0,02	0,7±0,1	0,011±0,001
	17	900	40,0	H		M17	<LD	<LD	<LD	0,061±0,003	0,67±0,04	0,017±0,001

Las concentraciones están expresadas en mg Kg⁻¹ seco

Apéndice 5. Características físicas de los peces recolectados en el Embalse Suata y concentraciones de los elementos determinados en las muestras de hígado

Muestreo	Pescado	Peso (g)	Talla (cm)	Sexo	Especie	Muestra	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
NOV 2007	1	1250,0	40,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	H1	0,26 ± 0,07	0,121 ± 0,009	0,10 ± 0,01	0,033 ± 0,008	44,0 ± 0,6	0,086 ± 0,008
	2	1000,0	34,0	H		H2	0,18 ± 0,03	0,0375 ± 0,0008	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,02	40 ± 2	0,05 ± 0,02
	3	1400,0	44,0	H		H3	0,23 ± 0,03	0,078 ± 0,002	0,088 ± 0,006	0,040 ± 0,008	46,8 ± 0,8	0,095 ± 0,004
DIC 2007	4	1250,0	47,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	H4	0,28 ± 0,02	0,078 ± 0,003	0,2 ± 0,2	0,026 ± 0,006	49,9 ± 0,5	0,08 ± 0,03
	5	1100,0	40,0	H		H5	0,15 ± 0,02	0,0462 ± 0,0005	0,13 ± 0,02	0,08 ± 0,01	41,7 ± 0,4	0,06 ± 0,03
	6	500,0	34,0	H		H6	0,21 ± 0,02	0,179 ± 0,002	0,07 ± 0,02	0,06 ± 0,02	18,8 ± 0,6	0,06 ± 0,02
	7	400,0	31,0	H		H7	0,146 ± 0,003	0,054 ± 0,002	0,06 ± 0,02	0,032 ± 0,001	41,9 ± 0,9	0,070 ± 0,005
ENE 2008	8	1550,0	48,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	H8	0,5 ± 0,1	0,090 ± 0,007	0,13 ± 0,01	0,020 ± 0,003	44,9 ± 0,3	0,07 ± 0,02
	9	1050,0	40,0	H		H9	0,13 ± 0,02	0,037 ± 0,001	0,11 ± 0,02	0,051 ± 0,007	42,1 ± 0,2	0,081 ± 0,002
	10	650,0	34,5	H		H10	0,464 ± 0,007	0,059 ± 0,002	0,112 ± 0,007	0,09 ± 0,02	40,1 ± 0,3	0,0380 ± 0,0008
	11	700,0	38,0	H		H11	0,099 ± 0,009	0,058 ± 0,002	<LD	0,030 ± 0,003	18,6 ± 0,1	0,023 ± 0,001
FEB 2008	12	700,0	26,0	H	<i>Petenia splendida</i>	H12	0,100 ± 0,007	0,050 ± 0,001	1,00 ± 0,08	0,148 ± 0,007	16,6 ± 0,2	0,04 ± 0,01
	13	750,0	32,0	H	<i>Hoplias malabaricus</i>	H13	0,08 ± 0,01	0,116 ± 0,005	<LD	0,006 ± 0,003	29,3 ± 0,3	0,06 ± 0,01
	14	1200,0	39,0	H		H14	0,09 ± 0,01	0,018 ± 0,001	0,071 ± 0,001	0,024 ± 0,001	24,6 ± 0,3	0,02 ± 0,04
MAR 2008	15	1200,0	>40	M	<i>Hoplias malabaricus</i>	H15	0,16 ± 0,06	0,18 ± 0,01	0,152 ± 0,003	0,044 ± 0,007	29 ± 4	0,10 ± 0,02
	16	750,0	39,0	H		H16	0,130 ± 0,008	0,11 ± 0,01	0,128 ± 0,009	0,46 ± 0,08	24 ± 1	0,04 ± 0,01
	17	900,0	40,0	H		H17	0,122 ± 0,008	0,115 ± 0,009	0,25 ± 0,02	0,07 ± 0,02	30 ± 1	0,051 ± 0,009

Las concentraciones están expresadas en mg Kg⁻¹ seco

