

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y VARIACIÓN ESTACIONAL DEL CONTENIDO DE
LOS METALES PESADOS: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Y Pb EN AGUAS Y PECES DEL
LAGO DE VALENCIA**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela,
por la Br. Kharla Karina Ziegler
Benítez para optar al título de
Licenciado en Química.

Caracas, Octubre de 2010

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del trabajo Especial de Grado titulado:

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y VARIACIÓN ESTACIONAL DEL CONTENIDO DE
LOS METALES PESADOS: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Y Pb EN AGUAS Y PECES DEL
LAGO DE VALENCIA”**

Presentado por la Br. Kharla Karina Ziegler Benítez, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra Magna Casa de Estudios para optar por el título de Licenciado en Química.

Prof. María de los Ángeles Álvarez

Prof. José Chirinos

Prof. Santiago Marrero

Yo, Profesora María de los Ángeles Álvarez, Investigadora del Centro de Química Analítica de la Escuela de Química, de la Universidad Central de Venezuela.

Certifico que, el presente Trabajo Especial de Grado, titulado:

“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y VARIACIÓN ESTACIONAL DEL CONTENIDO DE LOS METALES PESADOS: Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Y Pb EN AGUAS Y PECES DEL LAGO DE VALENCIA”

Que presenta la Br. Kharla Karina Ziegler Benítez, para aspirar al título de Licenciado en Química, ha sido realizado en el Centro de Química Analítica de la Escuela de Química de la Universidad Central de Venezuela, bajo mi dirección, durante el año 2010, y con esta fecha autorizo su presentación.

Caracas, Octubre de 2010

Prof. María de los Ángeles Álvarez

AGRADECIMIENTOS

Gracias papá Dios por tu energía, tu fortaleza y tu sabiduría, tres pilares para lograr esta meta.

Gracias a mis padres! Por ser mis creadores y permitirme la dicha de ser quién soy, sin ustedes no lo habría logrado, me enseñaron a tener mi propio criterio y la sabiduría de elegir mi camino. Los amo!

A mi Borrellin! Mi amor eterno! Mi gran amor! Sin duda el mejor de los amigos! Eres mi mayor apoyo y mi mayor fortaleza, es por eso que este logro también es tuyo! Te amo!

A mi graaan familia, tanto Ziegler como Benítez, sin dejar de lado a los Borrell, sin duda las mejores familias que he conocido! Los reamo!

A mi angelito y gran amigo Leo, donde quiera que estés se que nos volveremos a encontrar y celebraremos juntos lo que también pudo ser tu título! Te extraño man!

A mi tutora, María de los Ángeles, por permitirme trabajar con ella y aprender a convivir y perseverar en esta linda aventura, gracias profe! Este éxito también es suyo!

A mis amigos de campo, las trululu, walt, ang y demás, gracias por esa tremeeenda aventura! Un exitazo para todos!

A Kari y Simón, mis grandes amigos UCV!

A mis colegas y además tesisistas de mi tutora! Gracias chicas por estar ahí y juntas alentarnos y darnos mutuo apoyo!

Al personal que labora en el Centro de Química Analítica (CQA) de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias UCV, por permitirme realizar mi TEG en sus instalaciones. Así como, al personal del IBE, ICTA y MARN por la ayuda prestada.

Y, a mi grandiosa UCV! Por acobijarme y darme la formación requerida para vencer las sombras!! Arribaa **U U UCV!!**

Son todos personas esenciales y especiales tanto en mi vida académica como personal, sin ustedes no habría sido capaz de lograrlo! Mil gracias!

Los amo!

RESUMEN

El Lago de Valencia, situado en Venezuela entre los estados Aragua y Carabobo, se encuentra entre las ciudades de Valencia y Maracay, importantes centros urbanos e industriales de elevado crecimiento en las últimas décadas. Las aguas residuales y desechos provenientes de las actividades domésticas, industriales y agrícolas de la zona, llegan al lago mediante sus efluentes y las escorrentías y atentan contra la calidad de las aguas del lago y la biota que contiene. Los estudios más importantes realizados en la zona, que datan de finales de los años 80's (Mogollón ^[28]), señalaron el enriquecimiento de los sedimentos de fondo del lago con los metales Zn, Cu, Pb y Cr, y pocos estudios aportan información sobre el contenido de trazas de metales pesados, disueltos en sus aguas y presentes en la biota, debido a limitaciones de la sensibilidad de las técnicas analíticas empleadas.

En este trabajo se analizó el contenido de trazas metálicas de Cd, Cr, Cu, Ni Hg y Pb disueltas en las aguas y tejido de peces capturados en el Lago de Valencia, durante el semestre noviembre 2009-mayo 2010. Asimismo, se estudiaron las variaciones espaciales y estacionales en la composición de dichas muestras durante el año 2009-2010, dando continuidad al trabajo de Palma ^[11], y al proyecto CDCH-PG-03-00-6495-2006. El análisis químico se realizó mediante ETAAS y CV-AFS, y la data obtenida fue analizada empleando análisis de agrupamiento y de correlaciones múltiples

Los resultados mostraron que el contenido de los metales disueltos en las aguas, no supera los valores máximos especificados en la norma EPA ^[8] para aguas dulces, y en los decretos nacionales 3.219 ^[24] y 883 ^[40], por lo que son aptas para el uso de riego y recreación contemplados en estas normativas, que las clasifican como aguas Tipo 2, Sub-tipo 2B. Por otra parte, la concentración de los metales mostró variaciones estacionales, observándose una disminución de la concentración de todos los elementos desde el mes de junio 2009, atribuyéndose al incremento del

pH que ocurre en la época de lluvias. También se determinó que la concentración de los metales disueltos en las aguas del lago, muestra homogeneidad espacial, entre estaciones de muestreo y dentro de la columna de agua, a consecuencia del continuo mezclado de las aguas. Este mezclado es casi total para el mes de enero. El promedio anual de las concentraciones de los metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia fueron las siguientes: Cd $0,06 \mu\text{g L}^{-1}$, Cr $0,86 \mu\text{g L}^{-1}$, Cu $0,57 \mu\text{g L}^{-1}$, Hg $0,08 \mu\text{g L}^{-1}$, Ni $1,96 \mu\text{g L}^{-1}$ y Pb $1,18 \mu\text{g L}^{-1}$. Las correlaciones significativas obtenidas entre el Pb con el Cd, Cu, Ni y Hg, indicarían su introducción conjunta al cuerpo de agua mediante una fuente y vehículo común. Las principales actividades antrópicas que aportan estos metales son de tipo agrícola (empleo de fertilizantes y pesticidas) e industriales (metalúrgicas, baterías y uso de gasolinas) las cuales se desarrollan en la zona y cuyos desechos llegan al lago mediante los principales tributarios: ríos Caño Central y Los Guayos al oeste, Güigüe al sur, Guey y Tipitapa al este, y Guacara y Mariara al norte.

Por otra parte, la concentración de los metales en el hígado de peces fue superior que en el músculo, donde las concentraciones de Cd y Cu no superaron los valores máximos permitidos contenidos en las normas COVENIN 1087 ^[25] y 1766 ^[26] y en el Codex Alimentarius ^[27], y las de Cr y Ni no pudieron compararse, ya que no están especificadas en dichas normas. Sin embargo, las concentraciones de Hg obtenidas en músculo ($0,25-0,39 \text{ mg Kg}^{-1}$), sobrepasaron el valor máximo permitido por la norma COVENIN 1087 ($0,10 \text{ mg Kg}^{-1}$), y las de Pb ($1,1-1,7 \text{ mg Kg}^{-1}$) sobrepasaron el valor máximo establecido en el Codex Alimentarius ($0,3 \text{ mg Kg}^{-1}$), así como los indicios de bioacumulación de Hg y Cr, determinados en algunos ejemplares de peces, de acuerdo al factor de bioacumulación (FBC), muestran que el consumo de los peces del Lago de Valencia representa un riesgo para la salud humana. Las diferencias entre los patrones de agrupamiento y correlaciones obtenidas en el músculo e hígado de peces, y en el agua, sugiere que el principal aporte de los elementos en la dieta de estos peces depredadores, no es el agua, sino el zooplancton y los sedimentos suspendidos en el agua.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Metales pesados en ambientes acuáticos.....	4
2.1.1 Metales pesados en aguas	6
2.1.2 Metales Pesados en Peces	8
2.2 Determinación del contenido de metales en un sistema acuático	9
2.3 Estudio ambiental de los sistemas acuáticos de acuerdo al contenido metálico de sus aguas y peces	11
2.4 Estudios realizados sobre el contenido de metales en la cuenca del Lago de Valencia	13
2.5 Descripción de la zona de estudio	26
2.5.1 Información General	26
III. OBJETIVOS	31
3.1 Objetivo General	31
3.2 Objetivos Específicos	31
IV. PARTE EXPERIMENTAL	32
4.1 EQUIPOS.....	32
4.2 REACTIVOS	33
4.3 METODOLOGÍA	33
4.3.1 Muestreo.....	33
4.3.2 Preservación de las muestras de agua y peces.....	35
4.3.3 Tratamiento de las muestras	36
4.3.4 Análisis químico de las muestras.....	37

4.3.5 Estudio ambiental de las muestras	39
4.4 LUGAR DE TRABAJO	40
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
5.1 Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Lago de Valencia para el momento del muestreo	41
5.2 Análisis de las muestras recolectadas en el Lago de Valencia	50
5.2.1 Figuras de mérito de las metodologías empleadas.....	50
5.2.2 Concentraciones de metales pesados en las muestras de agua del Lago de Valencia	51
5.2 Concentración de metales pesados en muestras de peces	58
5.2.1 Metales pesados en muestras de músculo de peces	59
5.2.2 Metales pesados en muestras de hígado de peces.....	62
VI. CONCLUSIONES	70
VII. RECOMENDACIONES	72
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
IX. APÉNDICES	81

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales contaminantes metálicos en el agua, efectos sobre la salud y fuentes comunes de contaminación	4
Tabla 2. Principal origen antrópico de algunos metales.....	6
Tabla 3. Técnicas analíticas utilizadas en la determinación de metales de muestras ambientales.....	10
Tabla 4. Contenido de metales en la clasificación venezolana de las aguas Tipo 1, 2 y 4	12
Tabla 5. Concentración máxima permitida de metales en Peces	13
Tabla 6. Estudios ambientales realizados en la cuenca del Lago de Valencia, sobre el contenido de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos del fondo, agua y peces.....	22
Tabla 7. Concentración promedio de los metales disueltos en aguas de la cuenca del Lago de Valencia.....	25
Tabla 8. Concentración promedio de los metales en músculo de peces del Lago de Valencia y embalse Zuata.....	25
Tabla 9. Concentración promedio de los metales en hígado de peces del Lago de Valencia y embalse Zuata.....	26
Tabla 10. Datos Biométricos de los peces capturados. Muestreo Enero 2010 - Mayo 2010.....	35
Tabla 11. Programa del digestor de Microondas	37
Tabla 12. Condiciones de operación del CV-AFS.....	38
Tabla 13. Programa de calentamiento para el análisis simultáneo por ETAAS en muestras de agua, músculo e hígado de peces	39
Tabla 14. Parámetros Fisicoquímicos de las aguas del Lago de Valencia*	41
Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos del Lago de Valencia 1988-2010.....	42
Tabla 16. Límites de detección LOD y masa característica m_o	51
Tabla 17. Intervalo de concentraciones obtenidas y valores máximos permitidos a nivel nacional e internacional.....	52
Tabla 18. Principal origen antrópico de algunos metales.....	57

Tabla 19. Concentraciones en muestras de músculo de peces.....	59
Tabla 20. Concentración promedio de los metales en músculo de peces del Lago de Valencia y Embalse Zuata.....	61
Tabla 21. Factor de Bioconcentración en músculo de peces del Lago de Valencia. Muestreo: Junio 2009-Mayo 2010.....	62
Tabla 22. Concentraciones obtenidas para las muestras de hígado de peces.	63
Tabla 23. Valores promedios de concentración en las aguas, peces y sedimentos del Lago de Valencia (Jun-Oct 2009).....	69

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las partículas en el agua.....	8
Figura 2. Ubicación del Lago de Valencia en Venezuela	29
Figura 3. Mapa geológico de la Cuenca del Lago de Valencia.....	30
Figura 4. Sitios de toma de las muestras de agua en el Lago de Valencia	34
Figura 5. Esquema de digestión total de las muestras de peces	36
Figura 6. Tratamiento de oxidación previo a la determinación de Hg en aguas por CV-AFS	38
Figura 7. Temperaturas registradas en las aguas del Lago de Valencia	43
Figura 8. Valores de precipitaciones mensuales y promedio anual (histórico)	43
Figura 9. Valores de pH registrados en las aguas del Lago de Valencia.....	44
Figura 10. Valores de oxígeno disuelto (OD) en las aguas del Lago de Valencia	45
Figura 11. Valores de conductividad en las aguas del Lago de Valencia	46
Figura 12. Valores de alcalinidad en las aguas del Lago de Valencia	47
Figura 13. Valores de dureza en las aguas del Lago de Valencia.....	47
Figura 14. Proceso de disolución de carbonato en agua dulce	48
Figura 15. Valores de amonio en las aguas del Lago de Valencia	50
Figura 16. Valores de fosfatos en las aguas del Lago de Valencia	50
Figura 17. Dendograma obtenido para las muestras de aguas.	53
Figura 18. Concentración de metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia	55
Figura 19. Correlaciones entre los metales Cd, Cu, Hg, Ni y Pb en aguas del Lago de Valencia.....	56
Figura 20. Correlación entre los metales Pb y Cd en aguas del lago de Valencia. ..	57
Figura 21. Peso de los peces durante el muestreo	58
Figura 22. Gráfico de cajas y bigotes para las muestras de músculo de peces del Lago de Valencia.....	60
Figura 23. Gráfico de cajas y bigotes para las muestras de hígado de Peces del Lago de Valencia.....	63
Figura 24. Concentraciones encontradas en las muestras de tejidos de peces.	64

Figura 25. Dendograma obtenido para las muestras de tejidos de peces.....	65
Figura 26. Correlaciones obtenidas entre la concentración de los metales en el hígado con respecto a la talla y peso del pez.....	67
Figura 27. Correlaciones determinadas entre el Pb y otros elementos en el hígado y músculo del pez.	68

I. INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de sustancias químicas en actividades humanas, y el vertido de aguas servidas y otros tipos de compuestos relacionados con actividades domésticas, industriales y prácticas agrícolas inadecuadas, ha llevado a la contaminación química ambiental, que constituye un peligro para los ecosistemas acuáticos y las especies presentes en ellos ^[1]. En particular, la contaminación por metales pesados se debe a que los mismos no son biodegradables y, a elevadas concentraciones, pueden ser tóxicos para las especies que se exponen a ellos ^[2].

Los metales, al llegar al medio acuático, se fijan en los sedimentos, que actúan como integradores y concentradores de metales y luego, dependiendo de la forma física y química de los mismos, pueden movilizarse y ser transportados a través de las membranas biológicas de las diferentes especies marinas ^[3], o pueden ser liberados a la columna de agua debido a cambios en las condiciones ambientales tales como el pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos ^[4].

En particular, los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos, en comparación con la presente en el medio, por lo cual su consumo puede convertirse en un problema de salud para las poblaciones que se alimentan de este recurso ^[1]. El contenido de metales en sus tejidos puede tener un efecto significativo en la abundancia y estructura de la comunidad ^[5]. Asimismo, pueden servir como indicadores importantes de la contaminación.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los metales pesados son elementos que podemos encontrar distribuidos en el ambiente. El término de metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad relativamente alta o gravedad específica mayor a 4,011 g/mL y, en general, tienen pesos atómicos entre 63,546 y 299,590 g/mol. Algunos de ellos son tóxicos en concentraciones bajas, de manera que, pueden afectar a los seres vivos, y no pueden ser degradados o destruidos por lo que tienden a acumularse o incorporarse en nuestros cuerpos, mediante los alimentos (cadena alimentaria), agua potable o aire ^[2].

Algunos de esos elementos, como el cobalto, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, vanadio y zinc son benéficos y esenciales para los procesos vitales del hombre. Otros, como el cadmio, cromo, mercurio, plomo, arsénico y antimonio, entre otros, son muy tóxicos para el ser humano aunque se encuentren en cantidades trazas, y de interés particular para los sistemas acuíferos superficiales ^[6].

Muchos de los metales se encuentran en niveles de concentración por encima de los cuales resultan tóxicos. La toxicidad de un metal depende de la vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células. En cambio, la combinación de un metal con el azufre, en forma de sulfuro, da lugar a un compuesto menos tóxico que el hidróxido u óxido correspondiente, debido a que el sulfuro es menos soluble en los humores corporales que el óxido. La toxicidad suele presentarse cuando un organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado, cuando el metal se presenta en una forma bioquímica particular y cuando el organismo lo absorbe de manera inusitada ^[6].

La exposición del hombre a contaminantes metálicos, introducidos en su medio ambiente por la producción industrial, ha ido aumentando debido a que muchos de ellos se han utilizado durante siglos, pero pueden perjudicar la salud

humana y transformar el equilibrio de los sistemas ambientales si se permite que alcancen concentraciones excesivas en el agua, suelo y aire ^[7].

En la Tabla 1 se muestran los efectos que tienen algunos metales pesados sobre la salud humana, y los niveles máximos de concentración permitidos (NMC) en agua potable, así como también las fuentes más comunes de contaminación de los sistemas ^[8].

Los metales pueden tener un origen natural o antrópico. Cuando se habla de origen natural, se entiende que depende de la composición de la roca original y de los procesos de erosión y meteorización sufridos por la misma. En cambio, cuando los metales son introducidos por acción antrópica, se entiende que el hombre intervino mediante actividades industriales, agricultura, ganadería, minería o simplemente por actividad urbana ^[7].

Existen tres tipos principales de fuentes de emisión de metales en el medio ambiente. El más evidente es el proceso de extracción y purificación: minería, fundición y refinación. El segundo, menos conocido, es la emisión de metales al quemarse combustibles fósiles. Tales combustibles contienen arsénico, cadmio, plomo, mercurio, níquel, vanadio, cromo y cobre. La tercera fuente, la más diversa, es la producción y utilización de productos industriales que contienen metales, que aumenta al descubrirse nuevas tecnología y aplicaciones ^[7].

Cuando se formulan juicios sobre la inocuidad de una determinada descarga con contenido metálico en el medio ambiente, es preciso considerar la posibilidad de que se produzca la acumulación y transformación de estos metales en plantas y animales invertebrados, los cuales acumulan metales hasta niveles tóxicos ^[1]. En la Tabla 2 se muestran las principales fuentes de metales pesados según el tipo de industria.

Tabla 1. Principales contaminantes metálicos en el agua, efectos sobre la salud y fuentes comunes de contaminación [8].

Contaminante	NMC* mg L ⁻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**	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.

** Hg Inorgánico.

2.1 Metales pesados en ambientes acuáticos

Los sistemas acuáticos, por ser receptores directos e indirectos de los desechos que el hombre genera en sus actividades, se ven afectados por grandes

cargas de contaminantes. En un tiempo atrás, se confiaba en su carácter autodepurador, pero con el crecimiento urbano e industrial, dicha capacidad se perdió, desmejorando la calidad de las aguas ^[9].

Los metales siguen muchas vías y ciclos en el medio ambiente, y algunos de ellos experimentan transformaciones.

En los cuerpos de agua, los metales pesados pueden encontrarse tanto en sedimentos como en el agua, y por su consumo, introducirse en la cadena trófica y por consiguiente en los peces ^[1].

La composición de los sedimentos suministra información sobre el origen de los elementos, siendo un reflejo de la calidad del agua en donde se encuentran y además utilizarse como indicador paleo-ambiental. La concentración de los metales pesados en los sedimentos no solo depende de las fuentes antrópicas y litogénicas, sino también de las características texturales, contenido de materia orgánica, composición mineralógica y ambiente deposicional de los sedimentos ^[10].

Los factores bióticos o biológicos, como la actividad metabólica de los microorganismos, intervienen en la solubilización e insolubilización de los elementos inorgánicos, en la alteración de minerales y en la formación de depósitos, jugando así un papel importante en la movilidad de los elementos en el ambiente. De esta manera, la acumulación de algunos metales puede asociarse a la biodegradación de ligandos orgánicos que forman complejos organometálicos solubles ^[11].

Al contrario de muchos contaminantes orgánicos, los metales pesados no se eliminan de los ecosistemas por procesos naturales, por lo que son persistentes, sirviendo como indicadores de la calidad ecológica del agua debido a su toxicidad y su comportamiento bioacumulativo ^[12].

Tabla 2. Principal origen antrópico de algunos metales ^{[13], [14], [15]}.

Origen Industrial	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Ni	Zn
Baterías Eléctricas			x	x			x	x	
Cementos y amiantos					x				
Fertilizantes		x	x	x	x	x	x	x	x
Minería	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Motores de Vehículos			x	x	x		x		
Pesticidas		x		x	x	x	x		x
Papeleras y similares		x		x	x	x	x		x
Pigmentos y tintes	x		x	x	x		x	x	x
Plásticos	x		x		x				x
Textiles	x			x	x				x
Cerveceras				x					x
Alimentos diversos				x	x			x	x

2.1.1 Metales pesados en aguas

Los metales pesados se encuentran en las aguas en forma coloidal, partículas suspendidas y fases disueltas, pero, las concentraciones en disolución son generalmente bajas. Desde el punto de vista analítico, se define a los sólidos totales o sólidos suspendidos totales (SST) como toda la materia remanente después de evaporar una muestra de agua a temperaturas de 103-105 °C. Los sólidos sedimentables (SS), representan el material que sedimenta en 45-60 min en un cono Imhoff al dejar reposar el agua. Por último, los sólidos disueltos (SD) comprenden las partículas de tamaño de iones y de coloides, que pasan a través de un filtro no mayor a una micra ^{[16], [17]}. En la Figura 1 se presenta la clasificación de las partículas encontradas en el agua de acuerdo a su tamaño.

Los parámetros químicos del agua, como oxígeno disuelto (OD), dureza, alcalinidad, pH, Eh, nutrientes, temperatura, etc, influyen directamente en el grado de concentración de los metales disueltos en el agua. El oxígeno disuelto puede

afectar tanto la distribución como el estado fisiológico de la biota en el sistema acuático, ya que las aguas superficiales, normalmente están saturadas de OD, pero la demanda de oxígeno de los desechos orgánicos puede consumirlo rápidamente. El pH influye en la solubilidad de los metales ^[18]. La conductividad del agua proporciona una estimación de la concentración aproximada de las sales presentes, lo cual es de importancia especialmente si las aguas están destinadas a la producción de agua potable. La temperatura tiene un gran efecto en propiedades como la aceleración de reacciones químicas, reducción de solubilidad de los gases, intensificación de sabores y olores, etc ^[18].

Los sólidos suspendidos totales al igual que los sólidos disueltos en las aguas, afectan las actividades agrícolas taponando el suelo, disminuyendo la infiltración o por acumulación de sales en el perfil de los suelos disminuyendo la productividad ^[19], por lo que estas aguas son poco aptas para el riego. En las partículas y coloides, los metales pueden encontrarse como hidróxidos, óxidos, silicatos o sulfuros, ó adsorbidos en la arcilla. Las formas solubles generalmente son iones, quelatos o complejos organometálicos no ionizables. La solubilidad de trazas de metales en las aguas superficiales está controlado predominantemente por el pH, el tipo y la concentración de los ligandos a los cuales el metal puede unirse, el estado de oxidación de los elementos de los componentes minerales, y el ambiente redox del sistema ^[17].

La toxicidad de los metales en el agua, está caracterizada por los parámetros físicos y químicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad), además del olor, salinidad, turbidez, sólidos y las precipitaciones. Estos parámetros afectan en mayor grado la concentración de metales pesados solubles ya que, a través de las escorrentías drenan los elementos hasta los sistemas acuáticos, aumentando las concentraciones de estos elementos en dichos sistemas ^[19].

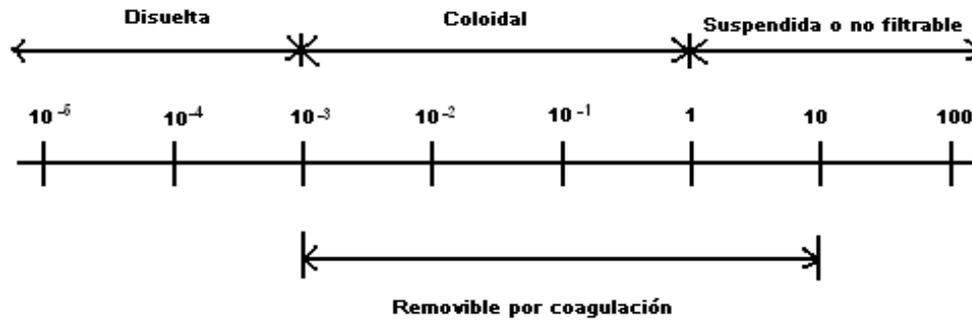


Figura 1. Clasificación de las partículas en el agua ^[17].

2.1.2 Metales Pesados en Peces

Algunos metales pesados como el cobre, el zinc o el hierro son elementos esenciales para el metabolismo de los peces, y son extraídos del agua, y alimento o los sedimentos. A través de estas mismas vías, se introducen otros metales que no tienen ningún rol biológico y son tóxicos, como el mercurio, el cadmio o el plomo. Cuando los metales son captados a través del agua, los órganos que principalmente tienden a acumular en mayor proporción los metales son las branquias. En cambio, si la vía de captación es a través de la alimentación, el hígado y el riñón, son los órganos que van a acumular mayor concentración de metales ^[20]. Por último, el músculo, es el tejido que menos cantidad de metales contiene ^[1].

La acumulación de estos metales en un tejido animal, depende básicamente de su concentración en el agua y del tiempo de exposición, pero hay otros factores ambientales (salinidad, pH, temperatura, etc.) y biológicos (género, tamaño del animal, etc.) que también influyen.

Numerosos estudios muestran que la acumulación de metales en los peces puede afectar el desarrollo de los organismos, sobre todo en las primeras etapas del crecimiento ^[20]. El tamaño está ligado directamente con la edad, ya que a medida que el pez crece existe una menor proporción de vísceras y la dieta alimenticia cambia, provocando que los peces sean más sensibles a la acumulación de metales

en sus primeras etapas de desarrollo ^[20]. La relación entre la concentración del metal en tejidos de peces y sus dimensiones (edad y tamaño), proporcionan información sobre el proceso de bioacumulación, el cual puede ser un peligro para la salud humana, en los niveles superiores de la cadena trófica ^[1].

2.2 Determinación del contenido de metales en un sistema acuático

El estudio ambiental del contenido metálico de un sistema acuático involucra el análisis de muestras de sedimento, agua, peces y plantas. El tratamiento analítico para el estudio de metales requiere de diversos procedimientos y técnicas, cuya elección está basada en el tipo de muestra, concentración de los metales, y por supuesto, el objetivo que se desea con dicho análisis.

La selección de la técnica analítica para la determinación de metales pesados en muestras ambientales se realiza en función del elemento a determinar y su concentración. En particular, para la determinación de metales pesados tóxicos (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb) en muestras de aguas y tejidos de peces, se emplean técnicas analíticas de elevada sensibilidad debido a las concentraciones en las cuales se encuentran los metales en la muestra. Algunas de estas técnicas son Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización Electrotérmica (ETAAS), Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) y de fluorescencia atómica (AFS) con generación de Vapor frío (CV) y generación de hidruros (HG).

En la Tabla 3 se muestran las características de algunas de las técnicas de absorción y fluorescencia atómica comúnmente empleadas.

Tabla 3. Técnicas analíticas utilizadas en la determinación de metales de muestras ambientales ^[21].

Técnica	Ventaja	Desventaja
Espectrometría de Absorción Atómica con Atomización Electrotérmica (ETAAS)	Intervalo dinámico lineal de hasta 2 órdenes de magnitud. LOD 0,1-0,005 $\mu\text{g L}^{-1}$. Volumen de muestra 0.5-20 μL .	Interferencias espectrales y no espectrales. Tiempo de análisis elevado.
Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) y de fluorescencia atómica (AFS) con generación de Vapor frío (CV) y generación de hidruros (HG)	Instrumentación sencilla. Separa el analito de la matriz. Bajo fondo. LOD (CV-AAS) en el orden de 0,01-0,005 $\mu\text{g L}^{-1}$. LOD (HG-AAS) de 10 a 100 veces mejor en los elementos As, Sb, Sn, Se, Bi, y Pb, en contraste a otras técnicas. LOD (CV-AFS) sin amalgama 1 ng L^{-1} y con amalgama 0,1 ng L^{-1}	Limitado a un pequeño grupo de elementos.

El análisis mediante técnicas atómicas de absorción y/o emisión en el UV-Visible requiere que las muestras sean homogeneizadas y disueltas previamente. Los métodos empleados frecuentemente para la disolución de muestras sólidas como sedimentos, tejidos u órganos de peces y plantas, pueden involucrar la digestión ácida, la extracción, la combustión y/o la fusión alcalina ^[22].

La digestión ácida es el procedimiento convencional utilizado para disolver muestras sólidas. Actualmente, la digestión asistida con hornos de microondas es el procedimiento más usado debido a su alta eficacia y menor consumo de tiempo y reactivos. La Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos ha propuesto diversas metodologías para la digestión parcial y total de muestras sólidas y entre las más usadas se encuentra la Norma EPA N° 3052 ^[23] la cual se refiere a la digestión total en medio ácido asistida con digestores de microondas.

2.3 Estudio ambiental de los sistemas acuáticos de acuerdo al contenido metálico de sus aguas y peces

El criterio más utilizado para el estudio ambiental de un sistema acuático es la comparación del contenido metálico en el agua y los peces, con los valores máximos permitidos, los cuales son establecidos por organismos nacionales e internacionales.

En Venezuela, de acuerdo al Artículo 6° del Decreto 3219, 1999 ^[24] de la Gaceta Extraordinaria 5305, las aguas del Lago de Valencia son consideradas como aguas del Tipo 1 (Sub-tipo 1C), Tipo 2 (Sub-tipo 2B), Tipo 4 (Sub-tipo 4A y 4B), Tipo 5 y Tipo 6 cuyas características aparecen detalladas en la Tabla 1 del Apéndice 1. Los tributarios de la cuenca del Lago de Valencia, se encuentran clasificados según el Artículo 7° del mismo Decreto ^[24]. Estas normas venezolanas emplean los parámetros como: oxígeno disuelto, pH, color, turbidez, fluoruros, organismos coliformes totales, etc., así como contenido de metales para la clasificación de las aguas.

De acuerdo al decreto mencionado ^[24], las aguas deben cumplir con ciertos valores máximos de concentración de metales y parámetros fisicoquímicos. Las aguas Tipo 1, Sub Tipo 1C deben tener un pH comprendido entre 3,8 y 10,5 y son aguas que pueden ser acondicionadas por proceso de potabilización no convencional. Las Tipo 2 Sub Tipo 2A y 2B son aguas destinadas a usos agropecuarios, y no deberán exceder los límites de concentración de metales los cuales se especifican en la Tabla 4. Por último, las aguas Tipo 5 y 6 no deberán contener sólidos flotantes o sedimentables que puedan interferir con la navegación o generación de energía ya que, son aguas destinadas para usos industriales que no requieren de agua potable y, a la navegación y generación de energía, respectivamente ^[24].

Tabla 4. Contenido de metales en la clasificación venezolana de las aguas Tipo 1, 2 y 4 ^[24].

Tipo y Definición	Sub-tipo	Contaminante	Concentración (mg L ⁻¹)
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	As	0,050
		Cr	0,050
		Cd	0,010
		Cu	1,000
		Fe	1,000
	1B	Mn	0,100
		Hg	0,001
		Pb	0,050
		Zn	5,000
2 Aguas destinadas a usos agropecuarios.	2A	As	0,050
		Cr	0,050
		Cd	0,005
		Cu	0,200
		Fe	1,000
	2B	Mn	0,500
		Hg	0,001
		Ni	0,500
		Pb	0,050
		V	10,00
Zn	5,000		
4 Aguas destinadas a balnearios.	4A	Metales	No detectables*
	4B		

* Según los métodos aceptables por el MARNR

El contenido de metales en peces, se encuentra regulado por las normas nacionales COVENIN 1087 ^[25]: Sardinias en Conserva, 1766 ^[26]: Atún en Conserva. Mientras que, los organismos internacionales que regulan estos parámetros, se encuentra la Environmental Protection Agency (EPA) ^[8] para las aguas y el Codex Alimentarius, según alinorm 93/18 ^[27] para peces. En la Tabla 5, se especifican las concentraciones de contaminantes máximas permitidas en peces.

Tabla 5. Concentración máxima permitida de metales en Peces ^[25-27]

Contaminante	Concentración Máxima Permitida* (mg Kg ⁻¹)	Concentración Máxima Permitida** (mg Kg ⁻¹)
Cu	10	NR
Cd	0,5	0,1
Pb	2	0,3
Hg	0,1	0,5

* Según los métodos de ensayo COVENIN

** Según Alinorm 93/18 de Codex Alimentarius,

2.4 Estudios realizados sobre el contenido de metales en la cuenca del Lago de Valencia

En la cuenca del Lago de Valencia, se han realizado estudios sobre el contenido de metales en muestras de aguas, peces y sedimentos ^[11,28-36, 38, 39 y41].

- **Mogollon J.L (1990)** ^[28], realizó un estudio del comportamiento geoquímico de los elementos metálicos en la cuenca del Lago de Valencia, utilizando muestras de suelos de zonas aledañas al lago de valencia, así como de sedimentos de sus contribuyentes y del fondo del lago, colectadas en abril de 1988. Sus resultados se resumieron en dos publicaciones ^[29-30]. En los estudios realizados en suelos de montaña y planicies aledañas al Lago de Valencia, así como en sedimentos de los tributarios ^[29], se encontró el enriquecimiento antropogénico con los elementos Pb, Zn, Ni, Cu y Cr, observándose que la mayor fuente de contaminación son las actividades domésticas e industriales que afectan los diversos ríos que atraviesan las ciudades Maracay y Valencia y desembocan en el Lago. En estas muestras, el enriquecimiento con los elementos Na, K, Mg, Ca, Al y Fe se debe a la influencia de la litología máfica de la zona, a excepción del Mn que se encuentra en menor concentración que la esperada, por el proceso de solubilización en la reducción de

las aguas poco profundas contaminadas. Entre los resultados del estudio de los sedimentos de fondo del Lago de Valencia ^[30] se determinaron los valores base en los sedimentos, que indican que los mismos son una mezcla de lutitas y carbonatos, y, adicionalmente, se encontró que están enriquecidos antropogénicamente con los elementos Pb, Zn, Ni, Cd y Cu con factores de enriquecimiento entre 2-16. La fracción metálica disponible se estimó en 30-90%. Las fuentes de mayor contaminación fueron las actividades domésticas e industriales que afectan a los diversos ríos que atraviesan las ciudades Maracay y Valencia y desembocan en el lago. Los sedimentos contaminados se encuentran principalmente en las desembocaduras de los principales contribuyentes, ríos Los Guayos y Güey (~10% del área del lago). Las aguas del lago de Valencia presentaron las siguientes características: pH:8, 8-9,4; T:24,4-28,0 °C; O.D.: 0-12; y conductividad: 1.840-1.930 µmhos. Los resultados permitieron concluir que en el 10% del área del lago los sedimentos del fondo, se encuentran contaminados como consecuencia de la baja movilidad de los elementos metálicos en aguas neutro-básicas y reducidas, así como por los procesos de enterramiento y precipitación de carbonato, siendo esto último quién controla el comportamiento geoquímico y espacial de todos los elementos estudiados.

- **Convenio MARN-JICA (2000)** ^[31], mostró los resultados de un estudio integral de los tributarios de la cuenca del Lago de Valencia, donde se analizaron muestras de aguas procedentes de las desembocaduras, determinándose DBO₅, DQO, Cloruros, sulfatos, N total, P total, nitrato, nitrito, amonio, coliformes, fenoles, metales y plaguicidas. En todos los tributarios de la cuenca, se encontró que las concentraciones de DBO₅, N total y P total estaban en el límite máximo establecido, elevadas densidades de coliformes totales y fecales, y concentraciones de plaguicidas por debajo del límite exigido. El análisis de Cu, Ni, Cr, Cd y Pb fue realizado mediante FAAS, por lo que en la mayoría de los casos, las concentraciones no fueron determinables. En base a estos resultados, determinaron que los tributarios de la cuenca del Lago de Valencia presentan degradación en la

calidad de sus aguas, como consecuencia de la continua descarga de aguas residuales urbanas e industriales hacia los mismos, así como por cargas orgánicas, cargas microbianas, sales disueltas, metales y otras sustancias tóxicas, siendo los tributarios que aportan el mayor porcentaje de carga másica vertida al lago (80%): Caño Central y los Guayos del estado Carabobo, Güey y los canales industriales Sudamtex, Papelera y Corpoindustria del estado Aragua.

- **MARN. (2001)** ^[32], determinó la concentración de metales pesados en aguas, sedimentos, tejido muscular, hígado y vísceras de peces del Lago de Valencia. De acuerdo a los resultados obtenidos, las concentraciones de metales pesados son bajas en las aguas del lago. En los sedimentos, las concentraciones de los elementos metálicos son 10 a 10.000 veces mayores que las reportadas en el agua. Las concentraciones encontradas para las zonas menos influenciadas por la actividad antrópica y para la zona influenciada por los ríos que transportan las aguas residuales de la ciudad de Valencia, fueron $Zn > Cu \geq Pb \geq Ni > Cd > Hg$, mientras que para la zona influenciada por los ríos que transportan las aguas residuales de la ciudad de Maracay, fue $Zn > Pb > Cu > Ni > Cd > Hg$. Las concentraciones de Hg en el tejido muscular se encontraron en un a rango de 0,03-0,107 mg/Kg, mientras que, en el hígado se encontraron entre 0,030-0,130 mg/Kg, ambas en peso húmedo. La comparación de los resultados obtenidos, permite apreciar que las concentraciones de metales pesados presente en las muestras analizadas, son siempre mayores en las zonas más intervenidas, demostrando un importante aporte antropogénico, así como también un proceso de bioacumulación en la biota evaluada.

- **Villafañe, R., Hernández, R. y Sánchez, N. (2002)** ^[33], estudiaron el impacto del riego con aguas servidas en suelos de la cuenca del Lago de Valencia. Haciendo determinaciones de sólidos suspendidos, pH, conductividad eléctrica, aniones y cationes. Cuantificando Na y K por fotometría de llamas, carbonatos por titulación con ácido sulfúrico, cloruro por titulación con $AgNO_3$, sulfato por espectrometría y

Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni y Cr por espectrometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos, arrojaron que todas las aguas muestreadas presentan algún grado de contaminación, ya sea, por sólidos suspendidos, metales pesados o sales, lo cual indica que está ocurriendo una degradación de las aguas de la cuenca del lago, así como la salinización y sodificación de los suelos. Igualmente, permitió obtener una calificación general de cada fuente de agua y una particular al sitio de uso. Siendo, las aguas con riesgo de salinización del suelo: río Aragua, embalse Taguaiguay, Lago de Valencia, aguas servidas de Guacara y agua subterránea de la finca La Peñera. Aguas con riesgo de disminución de la infiltración por dispersión del suelo superficial: río Aragua, embalse Zuata, embalse Taguaiguay y río Turmero. Aguas con riesgo de toxicidad por exceso de sodio: río Aragua, embalse Taguaiguay, Lago de Valencia y aguas servidas de Guacara. Agua con riesgo de toxicidad por exceso de cloruro: aguas servidas de Guacara.

- **Martinez M. (2003)** ^[34], realizó la caracterización geoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del Lago de Valencia, analizando en muestras de aguas procedentes región noroeste de la Cuenca del Lago, los metales Fe, Sr, Rb, B, Mn, Ni, Li, Cu y Ba, así como los iones Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , HCO_3^- , (SiO_2) , F^- , Br^- , PO_4^{3-} , mediante Cromatografía Iónica, Espectrofotometría atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y potenciometría. Se encontraron tres grandes grupos de aguas: tipo bicarbonatada sódica en la parte superior de la cuenca, bicarbonatada cálcica en la zona interior y sulfatada cálcica-magnésica en la planicie del lago, siendo la interacción agua-roca quien gobierna la composición química de estas aguas. Los resultados permitieron clasificar a las aguas como potables, de uso doméstico e industrial, con la excepción de las muestras localizadas en la planicie lacustrina, en las cercanías del lago donde, se encuentra localizada la mayor densidad de población, las cuales se clasificaron de uso agropecuario.

- **Valles A., Leal N. y Garrido N. (2004)** ^[35], estudiaron la calidad del agua de la cuenca de Lago de Valencia en muestras de aguas, peces y sedimentos del lago, así como de los tributarios afluentes a la cuenca del lago, analizando N total, P total, K, Al, Fe, Ni, Mn, Co, Pb, Zn, Cu y Cr. Sus resultados indicaron que la calidad de las aguas del Lago de Valencia es característica de un lago eutrófico, el cual muestra concentraciones altas de N total, P total, clorofila y una alta demanda de oxígeno. El proceso eutrófico ha llegado a una situación crítica actual de hipereutroficación, la cual tiene su origen en las descargas excesivas de nutrientes, nitrógeno, fósforo, y materia orgánica, entre otros, provenientes de fuentes puntuales y no puntuales, que han alcanzado las aguas superficiales del espejo de agua del lago durante años, a través de los 21 tributarios que drenan al mismo. Los metales pesados que puedan alcanzar las aguas superficiales del lago, no representan un riesgo a la salud debido a que precipitan como hidróxidos, oxi-hidróxidos, sales de carbonatos y sulfuros metálicos que pasan a ser parte del sedimento, los cuales presentan un enriquecimiento antrópico de dichos metales. Sin embargo, las aguas crudas del Lago de Valencia no son aptas para consumo humano debido a la presencia de coliformes, vegetación fitoplanctónica que libera sustancias tóxicas, alta concentración de sólidos disueltos, así como compuestos orgánicos vertidos al lago por las aguas residuales domésticas e industriales.
- **Luna M. (2006)** ^[36], estudió los procesos geoquímicos que controlan la composición química de las aguas subterráneas en el sector de Güigüe, Lago de Valencia, empleando la Espectrometría de Absorción atómica y emisión atómica, Cromatografía iónica, espectrometría de absorción molecular y potenciometría para el análisis de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , (SiO_2) , PO_4^{3-} , HCO_3^- . Detectó tres grupos de aguas: bicarbonatadas cálcicas en la parte superior de la cuenca, bicarbonatadas sódicas hacia la parte central y, aguas sulfatadas y/o cloruradas cálcicas y/o magnésicas para las aguas de la planicie del lago. Las aguas fueron clasificadas como aguas dulces, donde su composición química está determinada por la interacción agua-roca en la parte alta del lago (sureste) así como la alta

influencia de las actividades antrópicas desarrolladas en la zona y la mezcla de agua del lago con los acuíferos cercanos en la planicie del lago, dónde, estas aguas alcalinas, con un pH de 8,49, indican que la especie predominante es el bicarbonato debido a la presencia de conchas o restos calcáreos que se encuentran en el lago, según Bifano y Mogollón, (1995)^[37].

- **Gonzalez Y. (2008)** ^[38], estudió el estado ambiental de los sedimentos del Embalse Zuata, Edo Aragua, de acuerdo a su contenido metálico, concentración total de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, V, Hg, Mn, Fe, Ti, Ca, Mg, Al y Si, y fraccionamiento químico. De acuerdo al factor de enriquecimiento y el índice de geoacumulación determinados, los sedimentos del embalse Suata, se encuentran enriquecidos con Cd y Zn, los cuales provienen de fuentes antrópicas como plantaciones agrícolas, criaderos de animales y actividades recreacionales. La disponibilidad de los metales pesados en los sedimentos presentó el orden Zn>Mn>Co>Ni>Cd>Cu, siendo el Zn el que presenta mayor riesgo ambiental para el cuerpo de agua, de acuerdo al Código de Evaluación de Riesgo (RAC), ya que se encuentra en un 40% p/p, y los otros elementos representan un riesgo moderado.
- **Aru R. (2008)** ^[39], estudió el contenido de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Ni) en aguas y tejidos de peces del embalse Zuata, Edo. Aragua, usando las técnicas analíticas ETAAS y CV-AAS. Los resultados obtenidos indicaron que la concentración de los metales en el agua no exceden los valores máximos permitidos por el Decreto 883 (1995) ^[40] y la norma EPA ^[8] para aguas dulces (fresh water), por lo que estas aguas no representan un riesgo, de acuerdo al destino que tienen las mismas (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 ^[25-26]. En las muestras de hígado, las concentraciones de los metales fueron superiores a las obtenidas en el tejido de los mismos peces, y la concentración de Cu fue superior que el nivel máximo permitido en músculo, según

las mismas normas COVENIN ^[25-26]. Se encontraron correlaciones importantes entre la concentración de Cu con la talla y peso de los peces, así como entre los elementos Hg y Ni y la talla de los peces, lo cual indica un proceso de bioacumulación.

- **Sepúlveda G. (2009)** ^[41], realizó un estudio biogeoquímico del embalse Zuata de acuerdo al contenido de metales pesados en sus sedimentos, aguas y peces. Los niveles del contenido de metales en sedimentos no presentaron variaciones importantes dentro de la columna de agua. La concentración de los metales analizados en las aguas no sobrepasaron los valores máximos permitidos para este tipo de aguas por la EPA ^[8] y por el MARNR, por lo que su empleo para el riego y la recreación, no representa un riesgo. Determinó que los sedimentos se encuentran en un grado de moderado a fuertemente contaminado, por Cd y Zn y, de no contaminados a moderadamente contaminados con Cr, Cu y Mn. La concentración de metales en peces estuvo por debajo de los valores máximos permitidos por las normas COVENIN ^[25-26], por lo que su consumo no representa riesgos para la salud pública, aunque las concentraciones halladas en el hígado fueron superiores a los valores encontrados en el tejido de peces.

- **Palma M. (2009)** ^[11], realizó una evaluación del contenido Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Hg en agua y peces del Lago de Valencia, mediante ETAAS, CV-AFS. Determinó que las concentraciones máximas de metales disueltos en las aguas no superan los límites máximos permitidos por el Decreto 3.219 (1999) ^[24] de la Gaceta extraordinaria 5305 de Venezuela para las aguas con fines de riego, y los de la Organización Internacional EPA ^[8] para agua dulce, lo cual muestra que, las aguas del Lago de Valencia, no representan riesgo ambiental. En los músculos de peces, se encontraron valores que no superan los límites máximos permitidos por las normas COVENIN ^[25-26], observándose para el Pb concentraciones cercanas a las máximas permitidas. El contenido metálico en el hígado de peces, fue

significativamente mayor que el encontrado en las muestras de músculo, siendo el Cu el elemento en mayor concentración (6,7 mg Kg⁻¹ en la especie *Tilapia* y de 28 mg Kg⁻¹ en la especie *Guabinas*), mientras que el Hg sobrepasó los valores máximos permitidos, tanto en la especie *Tilapia* como *Guabinas*. Sin embargo, no se observaron indicios de bioacumulación.

En la Tabla 6, se muestra un resumen de los resultados obtenidos, más destacados, en los estudios en la cuenca del Lago de Valencia.

Tabla 6. Estudios ambientales realizados en la cuenca del Lago de Valencia, sobre el contenido de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos del fondo, agua y peces.

Autor y Fecha	Muestras	Elementos Analizados	Resultados
Mogollon J.L. y Bifano C. (1993) ^[29]	Suelos aledaños y Sedimentos de tributarios de la cuenca del Lago de Valencia	Na, K, Mg, Ca, Fe, Al, Mn, Pb, Zn, Ni, Cu, Cr y Co.	Los suelos de montaña y planicies aledañas al Lago de Valencia, así como los sedimentos de los tributarios se encuentran enriquecidos, antropogénicamente con los elementos Pb, Zn, Ni, Cu y Cr, siendo la mayor fuente de contaminación las actividades domésticas e industriales que afectan los diversos ríos que atraviesan las ciudades de Maracay y Valencia y desembocan en el Lago.
Mogollon J.L., Bifano C. (1996) ^[30]	Sedimentos del fondo del Lago de Valencia.	Al, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn.	Los sedimentos se encuentran enriquecidos con Pb, Zn, Ni, Cd y Cu, con factores de enriquecimiento entre 2-16, y fracción disponible de 30-90%. Las fuentes de mayor contaminación son las actividades domésticas e industriales de las ciudades de Maracay y Valencia que afectan a los ríos que desembocan en el lago, principalmente los ríos Los Guayos y Güey. La contaminación se encuentra localizada en las desembocaduras de los ríos por la baja movilidad geoquímica en un medio reductor y neutro-básico.
Convenio MARN-JICA (2000) ^[31]	Aguas de los tributarios y afluentes de la cuenca del Lago de Valencia.	Metales, aniones, plaguicidas y otros compuestos.	Los tributarios de la cuenca presentan degradación de la calidad de sus aguas como consecuencia de la continua descarga de aguas residuales urbanas e industriales hacia los mismos, principalmente en las zonas este y oeste del lago, debido a la influencia de los ríos Güey, Guayos y Caño Central, así como por la contaminación debido a la carga orgánica, carga microbiana, sales disueltas, metales y otras sustancias tóxicas.
MARN, (2001) ^[32]	Aguas, sedimentos, tejido muscular, hígado y vísceras de peces del Lago de Valencia.	Zn, Cu, Pb, Ni, Cd y Hg.	La concentración de los elementos analizados, es mayor en las zonas más influenciadas por los ríos que transportan las aguas residuales, domésticas e industriales de las ciudades Maracay y Valencia, que en las no influenciadas, lo cual demuestra un aporte antropogénico de estos elementos, así como también un proceso de bioacumulación en la biota evaluada.

Tabla 6. (Continuación). Estudios ambientales realizados en la cuenca del Lago de Valencia, sobre el contenido de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos del fondo agua y peces.

Autor y Fecha	Muestra	Elementos Analizados	Resultados
Villafañe, R., Hernández, R. y Sánchez, N. (2002) ^[33]	Aguas servidas y suelos de la cuenca del Lago de Valencia.	Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, CO ₃ ²⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ .	Los resultados obtenidos, arrojaron que todas las aguas muestreadas presentan algún grado de contaminación, ya sea, por sólidos suspendidos, metales pesados o sales, lo cual indica que está ocurriendo una degradación de las aguas de la cuenca del lago, así como la salinización y sodificación de los suelos.
Martínez M. (2003) ^[34]	Agua subterráneas, de manantial y del Lago de Valencia, sector Yagua-Guacara.	Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , HCO ₃ ⁻ , (SiO ₂), F ⁻ , Br ⁻ , PO ₄ ³⁻ , Fe, Sr, Rb, B, Mn, Ni, Li, Cu y Ba.	Las aguas se clasificaron como aguas potables que pueden ser de uso doméstico e industrial, a excepción de las localizadas en la planicie lacustrina en las cercanías del lago, las cuales se consideran de uso agropecuario, esto de acuerdo a la validación de los resultados obtenidos a través del balance de carga y la conductividad teórica.
Valles A., Leal N., Garrido N. (2004) ^[35]	Aguas, peces y sedimentos del y de los tributarios afluentes a la cuenca del Lago de Valencia.	N total, P total, K, Al, Fe, Ni, Mn, Co, Pb, Zn, Cu y Cr.	Las aguas del Lago de Valencia no son aptas para consumo humano debido a la presencia de coliformes, vegetación fitoplanctónica que libera sustancias tóxicas, alta concentración de sólidos disueltos así como compuestos orgánicos vertidos al lago por las aguas residuales domésticas e industriales.
Luna M. (2006) ^[36]	Agua subterránea y agua del Lago. Región de Güigüe.	Ca ⁺² , Mg ⁺² , Na ⁺ , K ⁺ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ , (SiO ₂), PO ₄ ³⁻ , HCO ₃ ⁻ .	Las aguas de la planicie del lago están controladas por la alta influencia de las actividades antrópicas desarrolladas en la zona y la mezcla de agua del lago con los acuíferos cercanos.

Tabla 6. (Continuación). Estudios ambientales realizados en la cuenca del Lago de Valencia, sobre el contenido de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos del fondo agua y peces.

Autor y Fecha	Muestra	Elementos Analizados	Resultados
Gonzalez Y. (2008) ^[38]	Sedimentos superficiales del fondo. Embalse Zuata	Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, V, Hg, Mn, Fe, Ti, Ca, Mg, Al y Si.	Los sedimentos del embalse Suata presentan una fuerte contaminación con Zn, de moderada a fuerte con Cd y de no contaminada a moderadamente contaminada con Cu y Cr.
Aru R. (2008) ^[39]	Agua y Guabinas (<i>Hoplias Malabaricus</i>) Embalse Zuata	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Ni	La concentración de los metales disueltos en el agua no representa un riesgo para el destino que tienen dichas aguas (riego y recreación), ya que, no exceden los valores máximos permitidos por el Decreto 883 ^[40] y por la norma EPA ^[8] . Las concentraciones de los metales en las muestras de tejido de peces no alcanzaron los valores límites permitidos según las normas COVENIN ^[25-26] .
Sepúlveda G. (2009) ^[41]	Sedimentos del fondo, agua y tejido de peces del Embalse Zuata.	Fe, Ti, Ca, Mg, Al, Si Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Co, V, Hg y Mn	Los sedimentos se encuentran de moderado a fuertemente contaminados por Cd y Zn y, de no contaminados a moderadamente contaminados con Cr, Cu y Mn. La concentración de los metales en el agua no representa un riesgo para el destino que tienen dichas aguas (riego y recreación) de acuerdo al contenido metálico.

Tabla 6. (Continuación). Estudios ambientales realizados en la cuenca del Lago de Valencia, sobre el contenido de metales pesados en muestras de suelos, sedimentos del fondo agua y peces.

Autor y Fecha	Muestra	Elementos Analizados	Resultados
Palma M. (2009) ^[11]	Agua y tejido de Peces del Lago de Valencia.	Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Hg.	Las concentraciones máximas de metales disueltos no superan los límites máximos permitidos por el Decreto 3.219 ^[24] de la Gaceta extraordinaria de Venezuela para las aguas con fines de riego y los de la Organización Internacional EPA ^[8] para agua dulce. El contenido metálico en las muestras en el músculo de peces no superan los límites máximos permitidos por las normas COVENIN ^[25-26] . Por lo que las aguas del Lago de Valencia, cuyo destino es el riego, no representan ningún riesgo ambiental.

En las Tablas 7, 8 y 9 se presentan las concentraciones de metales en muestras de aguas, tejidos e hígado de peces, respectivamente, provenientes de la cuenca del Lago de Valencia señalados en los trabajos citados.

Tabla 7. Concentración promedio de los metales disueltos en aguas de la cuenca del Lago de Valencia.

Autor y Fecha	Cu ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Cr ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g L}^{-1}$)	Hg ($\mu\text{g L}^{-1}$)
Convenio MARN-JICA (2000) ^[31]	<50	<20	<12,5	<10	<12,5	-----
Valles A., Leal N., Garrido N. (2004) ^[35]	<50	-----	<10	-----	<10	-----
Aru R. (2008) ^[39]	< 0,10-4,45	< 0,015 - 0,15	< 0,042- 1,45	< 0,4032-1,90	< 0,22-5,35	< 0,083- 0,43
Sepúlveda G. (2009) ^[41]	0,7-4,3	< 0,015-0,043	<0,04-2,25	2,1-5,7	< 0,2-2,4	0,003-0,022
Palma M. (2009) ^[11]	<0,3-7,7	<0,02-0,56	<0,09-4,91	<0,03-6,20	<0,3-4,7	<0,009-0,316

Tabla 8. Concentración promedio de los metales en músculo de peces del Lago de Valencia y embalse Zuata.

Autor y Fecha	Cu (mg Kg^{-1})	Cd (mg Kg^{-1})	Cr (mg Kg^{-1})	Ni (mg Kg^{-1})	Pb (mg Kg^{-1})	Hg (mg Kg^{-1})
Aru R. (2008) ^[39]	0,45-0,82	< 0,0007-0,01	0,04-0,30	< 0,02-0,16	< 0,01-0,48	< 0,0041-0,12
Sepúlveda G. (2009) ^[41]	2-17	0,025-0,005	0,13-3	0,06-0,20	<0,0108	0,07-0,03
Palma M. (2009) ^[11]	0,91-0,93	0,006-0,014	0,09-0,27	0,4-0,8	1,1-1,7	0,25-0,39

Tabla 9. Concentración promedio de los metales en hígado de peces del Lago de Valencia y embalse Zuata.

Autor y Fecha	Cu (mg Kg⁻¹)	Cd (mg Kg⁻¹)	Cr (mg Kg⁻¹)	Ni (mg Kg⁻¹)	Pb (mg Kg⁻¹)	Hg (mg Kg⁻¹)
Aru R. (2008) ^[39]	16 – 50	0,02 – 0,18	0,01 – 0,15	< 0,0 – 0,25	0,1 – 0,5	0,02 – 0,10
Sepúlveda G. (2009) ^[41]	2-17	0,05-0,13	0,1-0,2	0,2-0,4	0,1-0,2	0,01-0,09
Palma M. (2009) ^[11]	24-32	0,04-0,1	0,04-0,96	0,4-1	0,6-1	0,08-0,2

La literatura revisada, demuestra la presencia de una intervención antrópica que afecta el contenido de metales pesados en el Lago de Valencia, es por ello que en este trabajo, se continua el realizado por Palma, M. (2009) ^[11], el cual forma parte del proyecto UCV-CDCH-PF-03-00-6495/2006/2.

Los análisis químicos realizados en este trabajo, corresponden a las muestras colectadas durante el segundo semestre de muestreo Dic 2009 - May 2010, pero el estudio de la variación espacial y estacional (temporal) es sobre todo el año Jun 2009 – May 2010, dónde los datos del primer semestre de muestreo (Jun – Nov 2009) corresponden a Palma, M. (2009) ^[11].

2.5 Descripción de la zona de estudio

2.5.1 Información General

El Lago de Valencia o Lago de Tacarigua es el segundo lago de agua dulce natural en importancia de Venezuela después del Lago de Maracaibo. Se sitúa en Venezuela entre los estados Aragua y Carabobo, como se muestra en la Figura 2, y

está delimitado entre las coordenadas 67°07' y 68°12' de longitud oeste y los 09°57' y 10°26' de latitud norte ^[31].

La cuenca del Lago de Valencia cubre 3150 Km². En la actualidad, el lago tiene una extensión de 344 Km² y una profundidad máxima de 39 metros. En sus orillas se levantan importantes centros urbanos de Venezuela como son: Valencia, Maracay, Mariara y San Joaquín. La cuenca del Lago de Valencia es de tipo endorreica (la única de Sudamérica) con 16 ríos tributarios distribuidos a lo largo de la cuenca, la mayoría de ellos tienen menos de 30 kilómetros, entre los que destacan los ríos Güigüe, Turmero, Maracay, Cabriales, Los Guayos y Aragua, que es el más importante ^[31].

2.5.2 Geología local

La cuenca del Lago de Valencia se encuentra emplazada en una fosa tectónica conocida como Graben de Valencia, de edad terciaria, entre La Cordillera de la Costa y La Serranía del Interior, formada por la zona de fallas La Victoria, aún activa, rellenas por sedimentos predominantemente arenosos de origen aluvial y lacustrino de edad cuaternaria ^[28]

En la Figura 3 se muestra el mapa geológico de la cuenca. De acuerdo a Mogollón J.L (1990) ^[28], se destacan las formaciones geológicas que la conforman: Formación Las Brisas en el área norte de la cuenca, Las Mercedes y Peña de Mora, las cuales presentan las siguientes características:

Formación las Brisas: secuencia de sedimentos metamorfizados, abundantes en esquistos cuarzo-feldespático-micáceos. Su composición mineralógica promedio es de cuarzo 25%, oligoclasa 25%, moscovita 15%, biotita 5%, clorita 4% y epidoto 2%. Las rocas poseen una alta friabilidad producto de ser muy meteorizadas.

Formación Las Mercedes: su litología predominante consiste en esquistos cuarzo-muscovíticos-grafitoso-calcáreos con intercalaciones de mármoles grafitosos en forma de lentes. Su composición mineralógica promedio es de cuarzo 40%, muscovita 20%, calcita 23%, grafito 5%, óxidos de hierro, escaso epidoto y ocasionalmente plagioclasa. La composición calcárea facilita la meteorización química.

Formación Peña de Mora: complejo ígneo-metamórfico, constituida por gneises de grano fino a medio, augengneises y gneises bandeados caracterizados por cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo muscovíticos y ocasionalmente anfibolitas. La composición mineralógica de los gneis de grano fino promedio es plagioclasa (albita a oligoclasa sódica) 40%, cuarzo 25%, muscovita 10%, epidoto 8%, biotita 8%, mientras que los augengneises se componen de cuarzo 35%, plagioclasa (albita a oligoclasa sódica) 25%, microclino 20%, muscovita 8%, epidoto 5%.

En el área sur, afloran las formaciones Tucutunemo, Paracoto y el Complejo El Tinaco, de edades mesozoicas, a excepción del Complejo el Tinaco que pertenece al paleozoico.

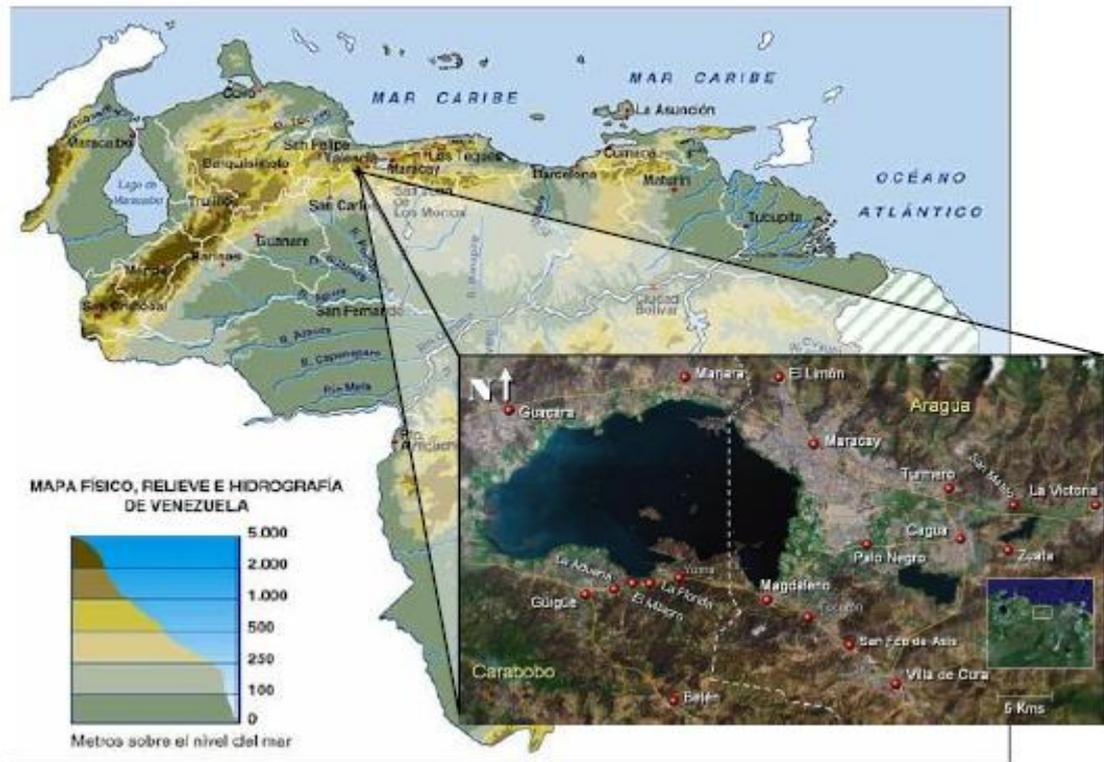


Figura 2. Ubicación del Lago de Valencia en Venezuela [42]

Formación Tucutunemo: secuencia sedimentaria de filitas carbonáceas con intercalaciones arenosas y limosas. En general, consiste en mármoles y filitas intercaladas y esquistos calcáreos cuarzo muscovíticos, filitas, metaareniscas y cuarcitas casi puras.

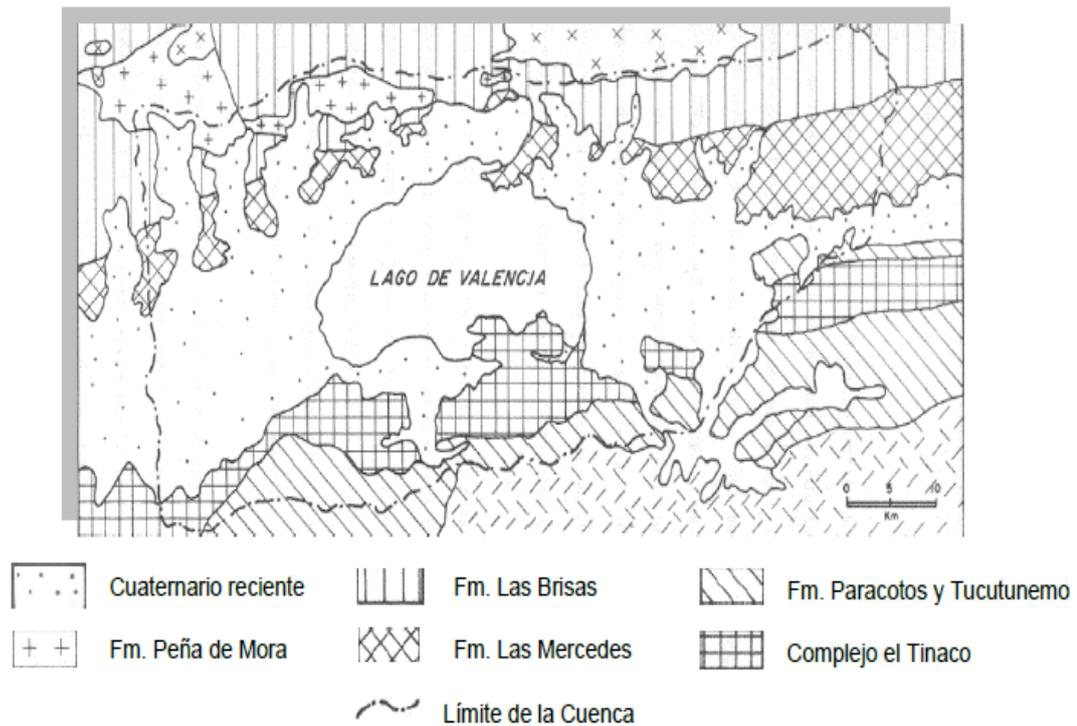


Figura 3. Mapa geológico de la Cuenca del Lago de Valencia ^[28]

Formación Paracotos: se distinguen tres conjuntos representados por calizas microcristalinas, conglomerados líticos y rocas volcánicas como bloques dentro de una matriz filítica.

Complejo el Tinaco: formado por un conjunto de gneises hornblendicos y rocas asociadas que forman un basamento cristalino y por dos unidades metasedimentarias. La primera, gneises probablemente de origen volcánico-sedimentario. La segunda, una secuencia de esquistos cuarzo-albítico, muscovítico.

III. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Determinar la distribución espacial y la variación estacional de la composición los metales pesados Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb en las aguas y peces del Lago de Valencia.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la concentración total de los metales Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb en muestras de tejidos de peces, músculo e hígado, y disueltos en agua, recolectados en el Lago de Valencia durante el semestre Diciembre 2009-Mayo 2010.
- Comparar las concentraciones totales, obtenidas para los metales pesados en las diferentes muestras, con los valores establecidos como máximos permitidos en normas locales e internacionales.
- Establecer las posibles correlaciones inter-elementales.
- Determinar la distribución espacial y variación estacional del contenido de los metales en las aguas del lago de valencia durante Junio 2009-Mayo 2010.

IV. PARTE EXPERIMENTAL

4.1 EQUIPOS

La liofilización de las muestras de hígado y músculo de peces se realizó empleando un equipo Marca LABCONCO, modelo FREEZONE 1, con capacidad para liofilizar 12 muestras simultáneamente, operando a una temperatura de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una presión de 0,293 mbar.

La digestión de muestras sólidas se realizó en un digestor de horno microondas, marca CEM modelo MDS 2000, el cual cuenta con un controlador de presión y temperatura (máximo 200 psi y $200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Empleándose recipientes de teflón para altas presiones (ACV-50).

La concentración de los metales se determinó empleando los siguientes equipos:

- Espectrofotómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica, Marca Perkin Elmer, Modelo SIMAA 6000. El espectrofotómetro, con capacidad de detectar hasta seis elementos simultáneamente, está equipado con un corrector de fondo basado en el efecto Zeeman longitudinal, emplea hornos calentados transversalmente (THGA) y un detector CMOS,
- Espectrofotómetro de Fluorescencia Atómica con vapor frío, Marca Analytikjena, Modelo Mercur. Este espectrómetro posee un automuestreador AS-52 y doble amalgama de oro, de empleo optativo.

4.2 REACTIVOS

Se emplearon estándares unielementales de: Cu 1000 mg L⁻¹, Marca Fluka Chemical, Ni y Pb 1000 mg L⁻¹, Marca Riedel de Haên, Cd y Cr 1000 mg L⁻¹, Marca Merck y Hg, 2000 mg L⁻¹, Marca Fluka Chemical.

Los reactivos utilizados para la digestión total de las muestras de peces y agua, así como para el tratamiento previo a su análisis por CV-AFS fueron: clorhidrato de hidroxilamina (NH₂OH.HCl) al 98% p/p, Marca Scharlau; peróxido de hidrógeno (H₂O₂) al 30%, Marca Riedel de Haên; ácido nítrico (HNO₃) al 65% p/p, Marca Riedel de Haên, tetradestilado en un destilador de teflón; ácido clorhídrico (HCl) AL 35% p/p, Marca Riedel de Haên, tetradestilado en un destilador de teflón, cloruro de estaño (SnCl₂.2H₂O), Marca Fisher Chemicals (Certificado T142-500, Hg ≤ 0.005 ppm); bromuro de potasio (KBr) Marca Fisher Chemicals (Certificado P205-500, Hg ≤ 0.005 ppm) y bromato de potasio (KBrO₃), Marca Dowell.

4.3 METODOLOGÍA

4.3.1 Muestreo

El muestreo se realizó durante seis meses (Diciembre 2009 - Mayo, 2010) de manera bimensual, en colaboración con el Laboratorio de Limnología del Instituto de Biología Experimental (IBE) de la Facultad de Ciencias, UCV y del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de Venezuela.

Para la toma de muestras de aguas se ubicaron cinco sectores dentro del Lago de Valencia, identificados como Estación 1 (E1: 10°10'46" N - 67°43'25" W), Estación 2 (E2: 10°07'23" N - 67°44'48" W), Estación 3 (E3: 10°09'02" N - 67°49'46" W), Estación 4 (E4: 10°14'00" N - 67°45'02" W) y Estación 5 (E5: 10°10'52" N - 67°38'20" W), tal como se muestra en la Figura 4. Dichos puntos fueron escogidos de acuerdo a las contribuciones más importantes que recibe el lago.



Figura 4. Sitios de toma de las muestras de agua en el Lago de Valencia ^[42]

Las muestras de agua se recolectaron en cada una de las estaciones, a tres profundidades diferentes (superficial-intermedia-fondo), tomándose un volumen de 1L en cada una y almacenándose en envases plásticos tratados previamente con $\text{HNO}_{3(c)}$ al 10% para garantizar su limpieza.

Durante el muestreo se tomaron, adicionalmente, otros datos como temperatura, pH, conductividad del agua y oxígeno disuelto.

Los peces considerados en el estudio fueron capturados el mismo día del muestreo, en colaboración con efectivos de la Guardia Nacional adscritos a la vigilancia costera del Lago de Valencia.

Una vez recolectadas las muestras, se mantuvieron refrigeradas hasta su llegada al laboratorio.

4.3.2 Preservación de las muestras de agua y peces

Una vez en el laboratorio, las muestras de agua fueron filtradas empleando un filtro de membrana de Nylon de 0,45 μm , de 25 mm de diámetro, marca Millipore Analítica, y se almacenaron en envases plásticos, acidificando con HNO_3 (c) tetradestilado, hasta llevarlas a $\text{pH} < 2$. Con este tratamiento, las muestras de agua refrigeradas a 4°C, pueden mantenerse hasta un lapso de tres meses para el análisis de la mayoría de los elementos, excepto el Hg para el cual se preservan por 28 días.

Para las muestras de peces, se identificó la especie, sexo y se tomaron los datos de peso y talla y algunos detalles de interés, tal como se muestra en la Tabla 10. Posteriormente, fueron disectados para tomar las muestras de músculo e hígado, los cuales se preservaron a -30 °C hasta su liofilización y digestión ácida. Esto fue realizado, en el Instituto de Ciencias y Tecnología de Alimentos (ICTA) de la Facultad de Ciencias, UCV.

Tabla 10. Datos Biométricos de los peces capturados. Muestreo Enero 2010 - Mayo 2010.

Muestreo	Muestra	Especie	Peso (g)	Talla (cm)	Sexo*	Observaciones
Enero 2010	1	Tilapia	295,9	24	M	
	2	Tilapia	388,4	27	H	Huevas
	3	Tilapia	357,7	26	M	
	4	Tilapia	244,6	21	H	Huevas
	5	Tilapia	293,5	24	M	
	6	Tilapia	285,2	22	M	
	7	Tilapia	330,9	25	M	
Marzo 2010	8	Tilapia	387,3	27	H	Huevas
	9	Tilapia	354,4	25	M	
	10	Tilapia	330	25	M	
	11	Tilapia	278,3	24	M	
	12	Tilapia	375,6	27	H	Huevas
	13	Tilapia	272,7	23	M	
Mayo 2010	14	Tilapia	274	22	M	
	15	Tilapia	253,8	22	M	
	16	Tilapia	242,8	22	M	
	17	Tilapia	248,1	21	H	Huevas
	18	Tilapia	229,5	20	M	
	19	Tilapia	163,6	17	H	Huevas

* M: Macho, H: Hembra

4.3.3 Tratamiento de las muestras

a. Muestras de agua: Las muestras de agua filtradas no requirieron tratamiento adicional para el análisis del contenido metálico disuelto.

b. Muestras de peces (músculo e hígado): Una vez disectados los peces y separados el hígado y el músculo, se procedió a la liofilización, para lo cual, las muestras se cortaron en trozos y se llevaron a un balón de 100 mL, donde se congelaron con nitrógeno líquido y, posteriormente, fueron llevadas al equipo de liofilización donde se dejaron en vacío, por 24 horas a $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 0,293 mbar, hasta deshidratarse por completo. Una vez liofilizadas, se pulverizaron y almacenaron en bolsas plásticas rotuladas dentro de un desecador, hasta su posterior digestión.

El procedimiento de digestión total empleado para las muestras de peces, fue optimizado por Aru, R ^[39] y se muestra en la Figura 5.

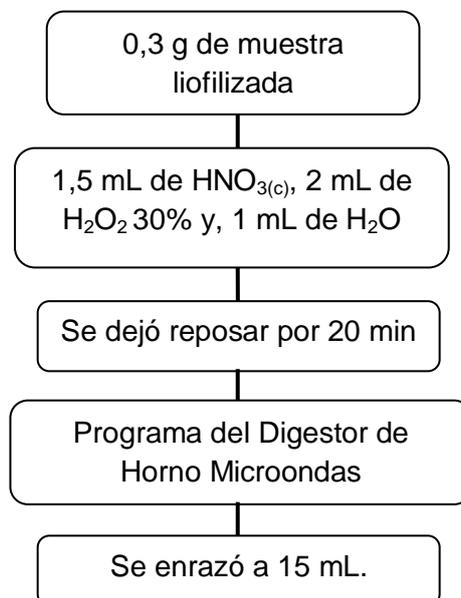


Figura 5. Esquema de digestión total de las muestras de peces ^[39]

El programa del digestor de microondas empleado para de digestión de las muestras de peces se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Programa del digestor de Microondas ^[39]

Etapa	(1)	(2)	(3)
Potencia (%)	70	90	90
Presión (PSI)	40	85	135
Tiempo (min)	15:00	15:00	10:00
TAP* (min)	10:00	10:00	10:00
Fan Speed, %	100	100	100

* TAP: tiempo que permanece la muestra a la presión indicada.

** Este programa está adaptado para 9 envases

4.3.4 Análisis químico de las muestras

Las muestras se analizaron para determinar el contenido de metales mediante ETAAS (Cd, Cr, Cu, Ni y Pb), y mediante CV-AFS (Hg).

a. Determinación de Hg por CV-AFS: Para la determinación de mercurio total, las muestras de aguas fueron previamente oxidadas según el procedimiento descrito en el manual de aplicaciones del equipo, que se especifica en la Figura 6. Las condiciones operacionales a emplear en la determinación de Hg por CV-AFS se señalan en la Tabla 12, y fueron optimizadas por Palma M (2009) ^[11].

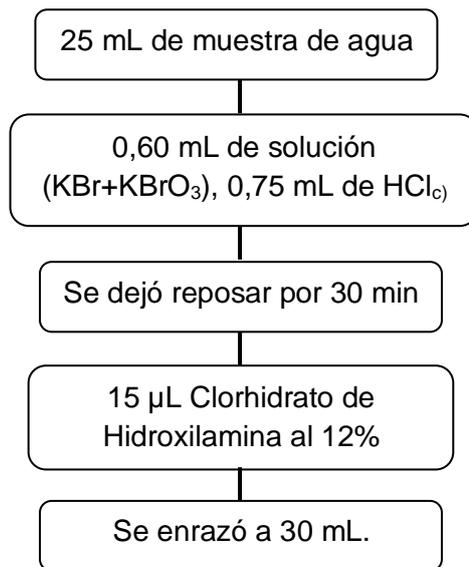


Figura 6. Tratamiento de oxidación previo a la determinación de Hg en aguas por CV-AFS

La solución de KBr y KBrO₃ se preparó a partir de la mezcla de 0,278 g de KBrO₃ en 50 mL de agua y 1,190 g de KBr en 50 mL. Para la solución de clorhidrato de hidroxilamina al 12 % se requirió de 6 g de NH₂OH.HCl en 50 mL de agua. Debido a la elevada sensibilidad del equipo, fue necesario destilar el HCl(c) por lo menos una vez para evitar posibles contaminaciones.

Tabla 12. Condiciones de operación del CV-AFS ^[11]

Muestra	Aguas	Tejido de Peces
Flujo de Argón	5 (L h ⁻¹)	5 (L h ⁻¹)
Carga (loop) de muestra	1000 (µL)	1000 (µL)
Reductor	SnCl ₂ 5 % p/v	SnCl ₂ 6,6% p/v
Solución de transporte	HCl 1,8% p/v	HCl 1,8% p/v

b. Determinación simultánea de Cd, Cr, Cu, Ni y Pb por ETAAS: el análisis de muestras de agua y tejidos de peces mediante ETAAS, se realizó bajo el modo simultáneo, para la determinación de Cd, Cu, Cr, Ni y Pb. Para ello se empleó la metodología optimizada por Azualde, Z^[43] y Aru, R^[39] donde se utilizó como modificador químico 5 µg de Pd + 3 µg de Mg(NO₃)₂. El volumen de inyección fue de 20 µL. En la Tabla 13 se muestra el programa general de calentamiento empleado.

Tabla 13. Programa de calentamiento para el análisis simultáneo por ETAAS en muestras de agua, músculo e hígado de peces ^[39] y ^[43]

Etapa	Temperatura (°C)	Tiempo de rampa (seg)	Tiempo de permanencia (seg)	Flujo de Ar (mL/min)
Secado I	110	1	20	250
Secado II	130	5	10	250
Calcinado	550	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

Las muestras analizadas en este trabajo correspondieron a las colectadas en el muestreo de noviembre 2009- mayo 2010.

4.3.5 Estudio ambiental de las muestras

El estado ambiental de aguas y peces, de acuerdo al contenido de metales pesados, se determinó mediante la comparación de las concentraciones obtenidas durante todo el año de muestreo, **junio 2009- mayo 2010**, con los valores máximos establecidos por las Normas COVENIN 1087^[25] y 1766^[26] y Codex Alimentarius^[27] en peces, y el Decreto 3.219 (1999)^[24] que clasifica las aguas del Lago de Valencia como aguas de riego con fines agropecuarios, así como los de la EPA^[8] para aguas dulces.

Asimismo, se realizaron estudios de agrupamiento y de correlaciones múltiples, utilizando el coeficiente de Spearman, el cual es poco sensible a los datos anómalos, para determinar las posibles variaciones espaciales y estacionales de la concentración de los elementos en las muestras, así como para determinar posibles formas y fuentes de los mismos al sistema.

4.4 LUGAR DE TRABAJO

El tratamiento de las muestras y el análisis químico fueron realizados en los laboratorios del Centro de Química Analítica (CQA) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Lago de Valencia para el momento del muestreo

Los parámetros fisicoquímicos del agua, como el oxígeno disuelto (OD), dureza, alcalinidad, pH, temperatura, concentración de fosfatos y amonio, entre otros, influyen en la concentración de los metales disueltos en el agua. Algunos de estos parámetros fueron medidos *in situ* y otros fueron determinados en el Laboratorio de Limnología del Instituto de Biología Experimental de la U.C.V. Los intervalos obtenidos para estos parámetros, entre estaciones y profundidades donde se realizó la toma de muestras dentro del Lago de Valencia, se muestran en la Tabla 14. Los valores determinados para cada estación y profundidad en cada fecha de muestreo se muestran en el Apéndice 3.

Tabla 14. Parámetros Fisicoquímicos de las aguas del Lago de Valencia*

Muestreo	Ene 2010	Mar 2010	May 2010	Jun 2009	Ago 2009	Oct 2009
pH	7,8 - 9,3	8,9 - 9,5	8,7 - 9,6	8,6 - 9,0	8,7 - 9,3	8,4 - 9,1
OD (mg/L)	1,16 - 11,3	0,05 - 10,91	0,12 - 16,8	0 - 14,06	0 - 17,5	0 - 12,5
Temp (° C)	26,5 - 28,0	26,2 - 30,8	26,5 - 30,5	26,2 - 28,9	26,4 - 32,4	26,7 - 31,7
Alcalinidad(mgCaCO₃)	398 - 406	406 - 410	369 - 417	390 - 414	392 - 428	386 - 466
Dureza (mg CaCO₃)	454 - 465	457 - 470	460 - 473	444 - 459	449 - 451	446 - 451
Amonio (mg/L)	89 - 470	65 - 419	172 - 742	33 - 498	152 - 730	39 - 1308
Fosfatos (mg/L)	868 - 927	595 - 974	655 - 1052	263 - 950	626 - 984	324 - 668
Cond (µS/cm)	1819 - 1829	1812 - 1839	1802 - 1852	1892 - 1930	1879 - 1942	1874 - 1940

*Intervalos obtenidos en las diferentes estaciones y profundidades de toma por fecha de muestreo; semestre Jun-Nov 2009 por Palma(2009) ^[11]

Los intervalos de pH y conductividad de las aguas, obtenidos en el muestreo junio 2009-mayo 2010 no varían de los reportados por Mogollón ^[28] para el muestreo realizado en abril de 1988 ni para el muestreo realizado por MARN-JICA (2000) ^[31]. En cuanto a la temperatura y OD, los valores de Mogollón son ligeramente menores, indicando un pequeño calentamiento y aumento de la concentración de OD en las aguas del Lago de Valencia, tal como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Parámetros fisicoquímicos del Lago de Valencia 1988-2010.

Año	pH	T (°C)	OD (mg/L)	Cond (µS/cm)
1988 ¹	8,8 - 9,4	24,4 - 28,0	0 - 12	1840 - 1930
2000 ²	8,4 - 9,5	26,9	-	1876
2009 ³	8,4 - 9,3	26,2 - 32,4	0 - 17,5	1874 - 1942
2010 ⁴	7,8 - 9,6	26,2 - 30,8	0 - 16,8	1802 - 1942

¹ Datos reportados por Mogollón ^[28] abril de 1988; ² datos obtenidos por MARN-JICA (2000); ³ datos obtenidos por Palma, M (2009) ^[11] jun-oct 2009; ⁴ datos obtenidos en este trabajo dic 2009-may 2010.

A continuación; se presenta información relevante relacionada con los parámetros fisicoquímicos del agua del Lago de Valencia, y su variación de durante el muestreo realizado durante el año junio 2009- mayo 2010.

En la Figura 7 se muestra la variación de la temperatura durante el muestreo, notándose que el régimen de temperaturas tiene dos picos máximos, en agosto y marzo, respectivamente y la mínima en enero. La variación de la temperatura del agua entre estaciones, es mayor en la superficie en comparación al fondo, observándose los mayores valores en la E3>E4>E2>E5>E1. Ya que la profundidad de las estaciones sigue el orden E1>E5>E4>E3>E2, puede decirse que existen fuentes externas, los ríos tributarios (Caño Central y Los Guayos en la E3) y descargas industriales (Río Guacara en E4) que calientan las aguas superficiales. Por otra parte, en el mes de enero se observó la homogenización de la temperatura de las aguas debido al proceso de mezclado de las mismas.

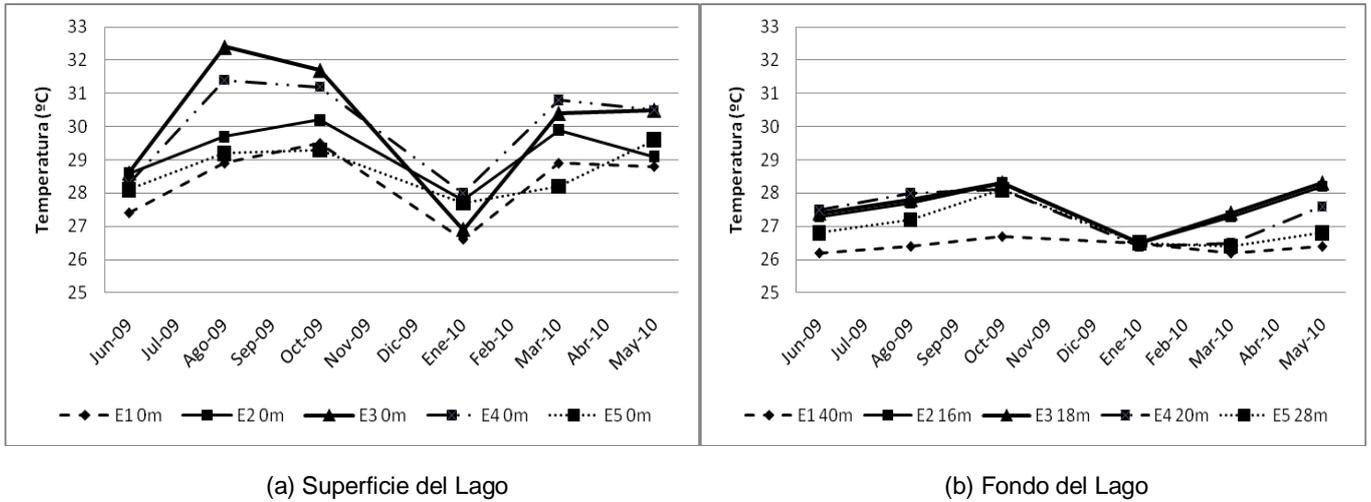


Figura 7. Temperaturas registradas en las aguas del Lago de Valencia

El pH de las aguas fue básico durante todo el año de muestreo, lo cual puede ser atribuido al elevado contenido de carbonatos en los sedimentos del lago, tal como fue señalado por Mogollón y Bifano (1996) ^[30] y Luna, M (2006) ^[36] en estudios previos realizados en el Lago de Valencia, siendo estos valores de pH también observados por MARN-JICA (2000) ^[31]. De igual forma se observa que el pH aumenta (se basifica) de junio a agosto 2009 y de marzo a mayo 2010. Aunque en este año, las precipitaciones presentaron una disminución considerable en casi todo el país ^[45], en la Figura 8 se observa que el período de sequía se presentó en los meses de noviembre 2009 a marzo 2010.

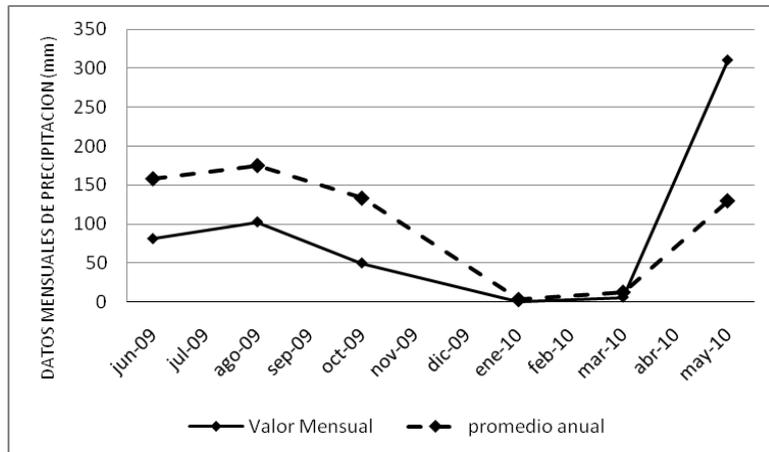
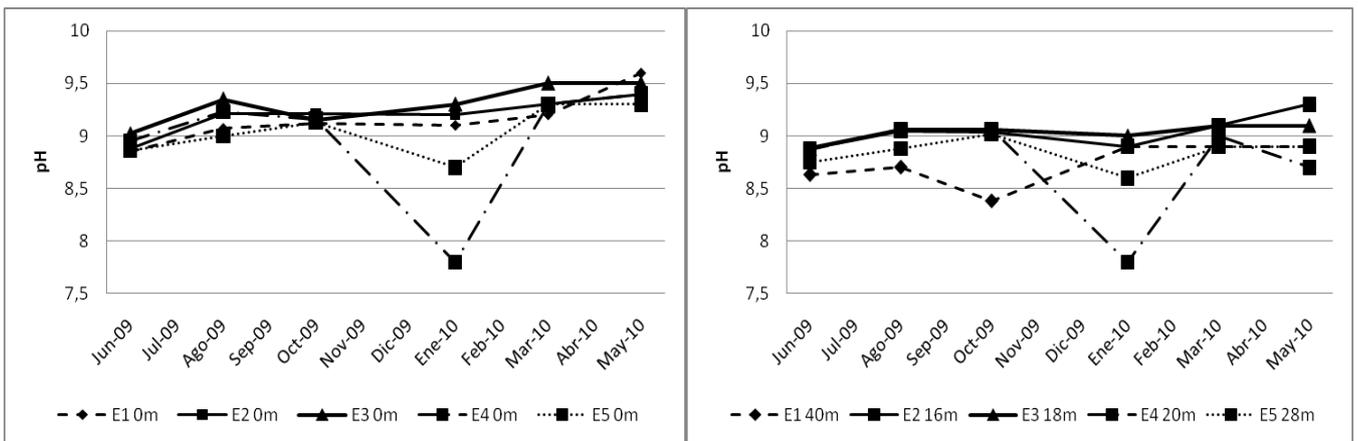


Figura 8. Valores de precipitaciones mensuales y promedio anual (histórico) ^[45]

El pH más ácido se presentó en el mes de enero 2010, tanto en la superficie como en el fondo en la E4, y en el resto de las estaciones también se observó dicho comportamiento del pH en el mes de enero, época de sequía, tal como se observa en la Figura 9.



(a) Superficie del Lago

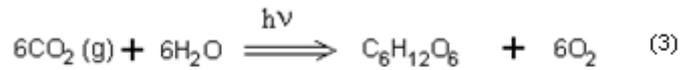
(b) Fondo del Lago

Figura 9. Valores de pH registrados en las aguas del Lago de Valencia

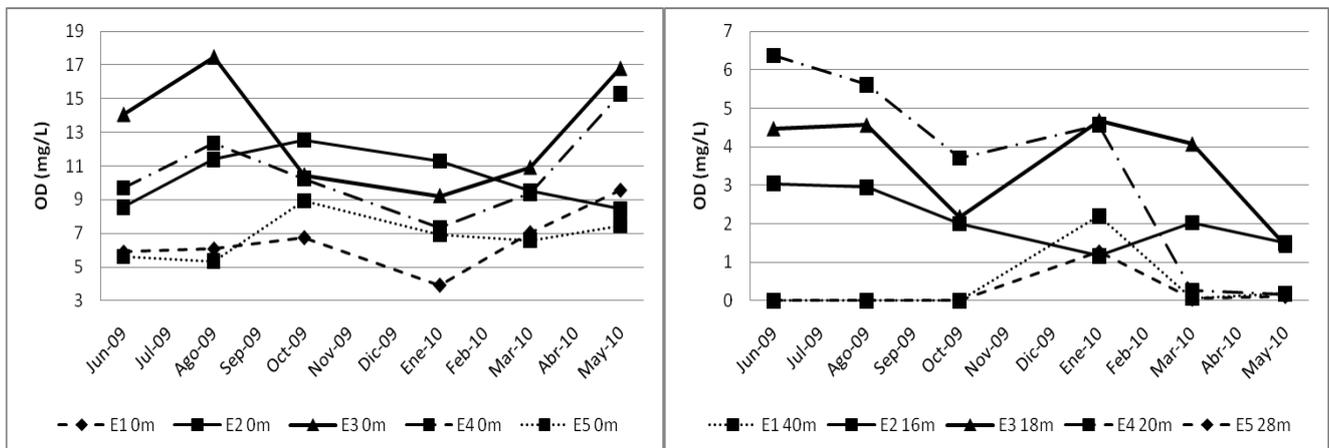
La concentración de OD, es menor en las aguas del fondo que en las aguas superficiales, tal como se muestra en la Figura 10(b). Esto se relaciona con los procesos fotosintéticos del fitoplancton, los cuales disminuyen con la profundidad, debido a la ausencia de luz.

En la superficie, las aguas se encuentran en intercambio permanente con el oxígeno y dióxido de carbono de la atmósfera, representado por las ecuaciones (1), (2) y (3):





Los procesos fotosintéticos del fitoplancton en los primeros metros de la columna de agua, donde llega la luz, produce un consumo del CO_2 (ecuación (3)) desplazando el equilibrio de la ecuación (2) hacia la izquierda, reduciendo la concentración de H_3O^+ y de esta manera aumenta ligeramente el pH y el OD. En consecuencia, en la superficie Figura 10(a), aumenta la concentración de OD durante el período de lluvias, cuando aumenta la actividad fotosintética, debido al aumento de nutrientes en el sistema.



(a) Superficie del Lago

(b) Fondo del Lago

Figura 10. Valores de oxígeno disuelto (OD) en las aguas del Lago de Valencia

En cambio, en el fondo del lago predominan los procesos metabólicos del zooplancton, en los cuales se consume el oxígeno para generar $\text{CO}_{2(\text{g})}$ (ecuación (4)) lo cual provoca la disminución del pH y los niveles de OD, hasta alcanzar, en algunos casos, ambientes totalmente anóxicos. Lo anterior, explica el comportamiento del OD en el fondo del lago, esencialmente en las Estaciones E1 y

E5, de mayor profundidad (40 m y 28 m, respectivamente), donde los valores de OD son de casi 0 mg L^{-1} , como se observa en la Figura 10(b). El mezclado de las aguas en el mes de enero, produce el aumento del OD de las aguas en las zonas más profundas, tal como se muestra en la Figura 10(b).

La conductividad presentó un comportamiento similar en las aguas superficiales del lago, disminuyendo desde noviembre 2009-febrero 2010, cuando la temperatura baja y el pH aumenta, disminuyendo la solubilidad de las especies en solución. En las estaciones E4, E5 y E1, se presentaron los valores mayores de conductividad, tal como se observa en la Figura 11. En el mes de enero, se observa la homogeneización de esta variable en las aguas del lago producto del mezclado de las mismas.

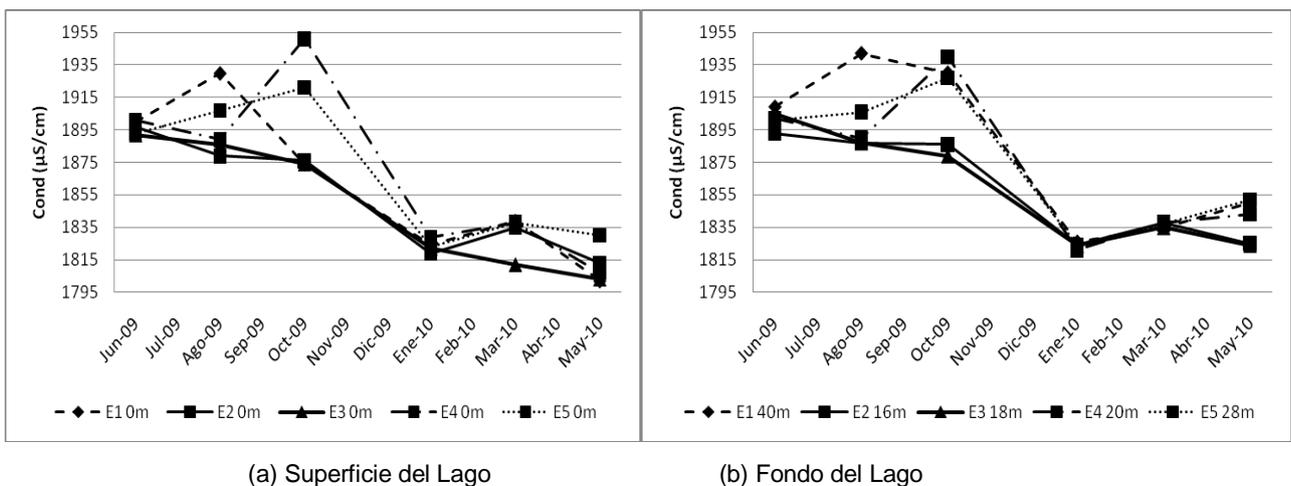
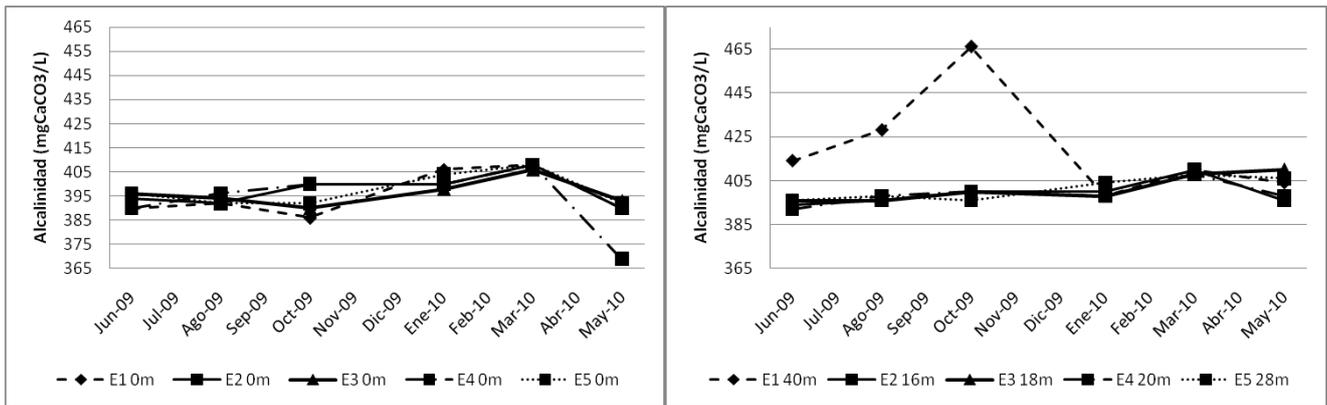


Figura 11. Valores de conductividad en las aguas del Lago de Valencia

Por otra parte, la alcalinidad presentó un aumento de noviembre 2009 a marzo 2010, tanto en la superficie como en el fondo, tal como se muestra en la Figura 12. La alcalinidad es un indicador de la alta productividad del lago, a nivel fotosintético. Esta relación se debe a que la disponibilidad del carbono es mayor en lagos alcalinos y también al hecho de que las rocas sedimentarias que contienen

carbonatos, a menudo contienen también concentraciones relativamente altas de nitrógeno y fósforo ^[46], siendo este tipo de roca las que conforman la litología del Lago de Valencia.

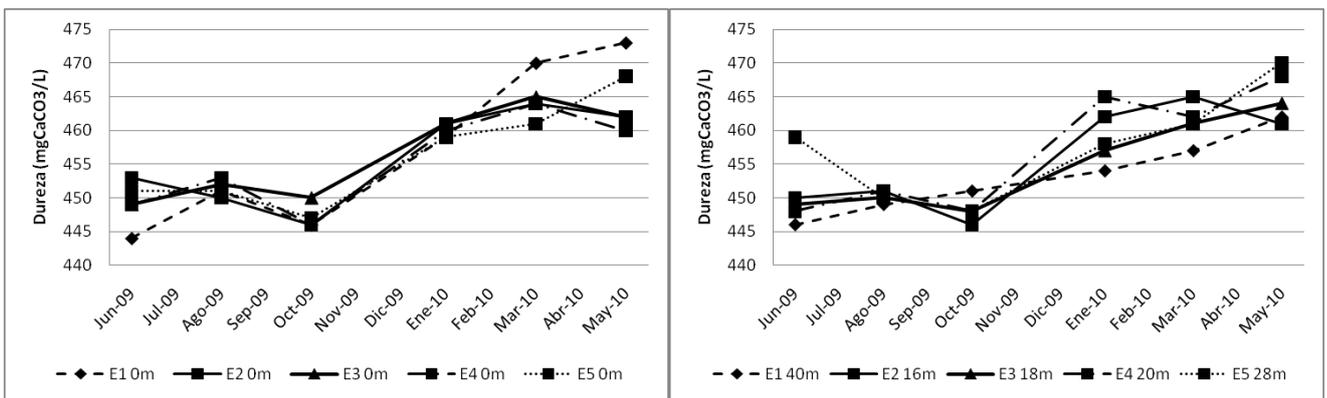


(a) Superficie del Lago

(b) Fondo del Lago

Figura 12. Valores de alcalinidad en las aguas del Lago de Valencia

La dureza presentó un comportamiento similar a la alcalinidad, ya que se encuentran íntimamente relacionadas, encontrándose un aumento entre los meses octubre 2009 – mayo 2010, tal como se muestra en la Figura 13.



(a) Superficie del Lago

(b) Fondo del Lago

Figura 13. Valores de dureza en las aguas del Lago de Valencia

La variación de la alcalinidad y la dureza entre estaciones es baja, debido a que en los suelos carbonáticos del lago, ocurre un proceso de disolución de carbonatos, el cual es promovido por el CO_2 disuelto en el agua y/o generado por los sedimentos ricos en materia orgánica, el cual reacciona con el agua para generar pequeñas cantidades de ácido carbónico que disuelve las rocas de carbonato de la cuenca enriqueciendo los sedimentos en carbonatos y contribuyendo tanto a la alcalinidad como a la dureza del agua ^[46], tal como se muestra en la Figura 14.

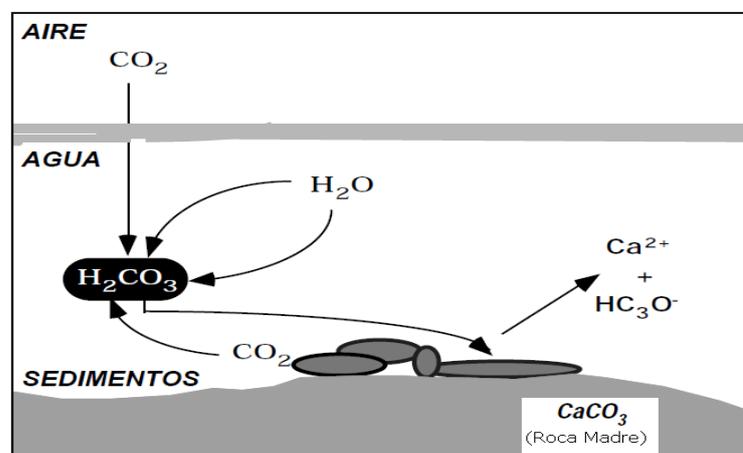
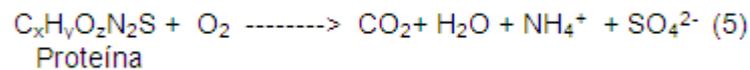


Figura 14. Proceso de disolución de carbonato en agua dulce ^[45]

Los mayores valores de dureza se observaron en las estaciones más profundas (E1 y E5), donde la cantidad de OD es menor, lo que genera un ambiente anóxico que permite la generación de sedimentos ricos en materia orgánica. Mientras, con el comienzo de las precipitaciones (mayo-junio), la dureza comienza a disminuir, tanto en la superficie como en el fondo, debido a la menor disposición del CO_2 , y por tanto, menos disolución de las rocas carbonáticas que conforman la cuenca del Lago.

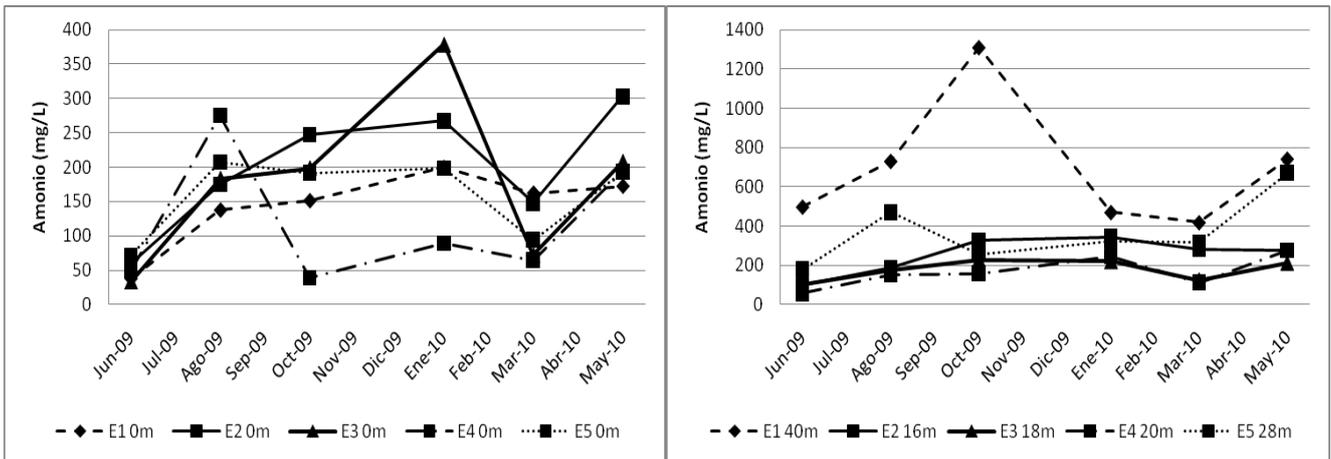
El ión NH_4^+ en las aguas, se encuentra relacionado directamente con la presencia de fertilizantes y heces en las aguas, lo cual indica contaminación de las

mismas. La principal fuente de contaminación son las aguas residuales, donde el amoníaco proviene de la descomposición de la urea, $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ por parte de las bacterias ureasas. El agua de lluvia, debido a la disolución del nitrógeno de la atmósfera, también puede presentar algunas trazas. De igual forma, la descomposición aeróbica de las proteínas que contienen nitrógeno y azufre producen NH_4^+ , lo cual puede representarse por la ecuación química general (5) [47].



En la Figura 15, se puede observar como el contenido de NH_4^+ en las aguas del lago, es mayor en el fondo en relación con la superficie. Ya que, en esos ambientes no se encuentra suficiente OD para oxidar al NH_4^+ , promoviendo su acumulación en el fondo del Lago. Por lo que las variaciones de NH_4^+ en el fondo son menores que en la superficie.

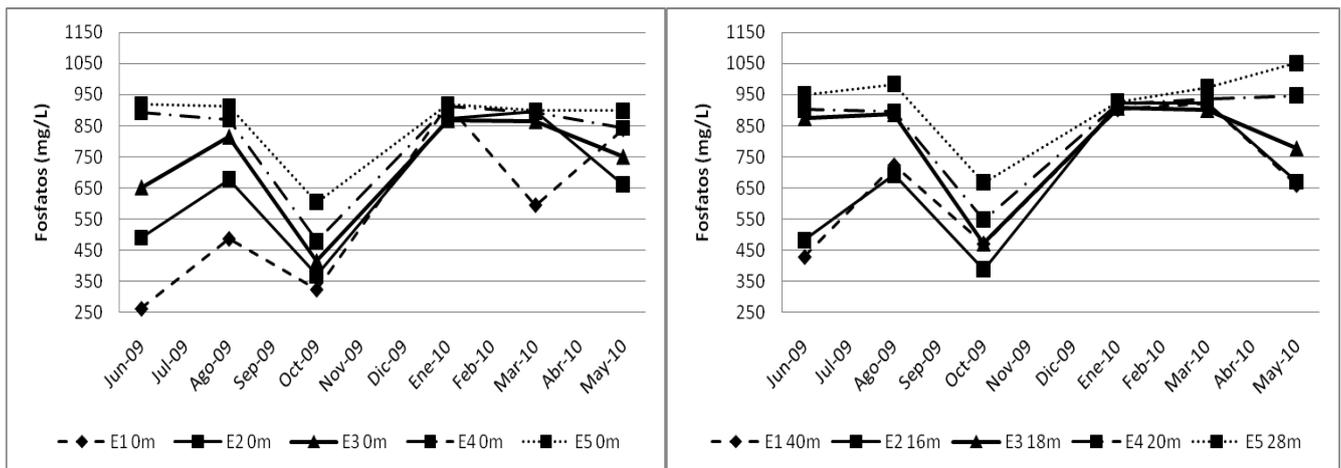
En el caso de los fosfatos, se encuentran principalmente en los detergentes y fertilizantes, y llegan a las aguas por el escurrimiento agrícola o por las aguas servidas domésticas e industriales, formando parte de los nutrientes para las plantas tanto a nivel superficial como en el fondo. En la Figura 16 se observa que en la E1 se presentaron los menores valores de fosfatos, esto por ser la estación central y sin influencia antrópica directa. Mientras, las estaciones E4 y E5 son las que presentaron los valores mayores, por recibir las descargas directas de la zona industrial de Valencia-Guacara y Mariara-Maracay, respectivamente. La disminución apreciable observada en el mes de octubre en todas las estaciones, podría deberse al consumo masivo por parte de la biota.



(a) Superficie del Lago

(b) Fondo del Lago

Figura 15. Valores de amonio en las aguas del Lago de Valencia



(a) Superficie del Lago

(b) Fondo del Lago

Figura 16. Valores de fosfatos en las aguas del Lago de Valencia

5.2 Análisis de las muestras recolectadas en el Lago de Valencia

5.2.1 Figuras de mérito de las metodologías empleadas

En la Tabla 16 se muestran las figuras de mérito asociadas a las metodologías empleadas ^[11], ^[39] y ^[43].

Tabla 16. Límites de detección LOD y masa característica m_o

Elemento	m_o Obtenida (pg)	m_o Reportada (pg)* [44]	LOD _i Obtenido ($\mu\text{g L}^{-1}$)	LOD _m obtenido (ng g^{-1})	% de Recuperación
Cd	2,4	1,3	0,01	0,5	107
Cu	29	17	0,33	16,5	104
Cr	8	7	0,03	1,5	107
Hg	--	--	0,005	0,25	-
Ni	37	20	1,2	70,0	106
Pb	64	60	0,66	33,0	113

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

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

LOD_m: límite de detección del método ($\text{LOD}_i \times V_m / M$, donde V_m es el volumen de muestra y M la masa de muestra)

Los valores del porcentaje de recuperación (%R) obtenidos, indican que las metodologías empleadas son confiables cuantitativamente, ya que se encuentran dentro del intervalo aceptado 85- 115 %.

5.2.2 Concentraciones de metales pesados en las muestras de agua del Lago de Valencia

En la Tabla 17 se muestran los intervalos de concentración para los metales disueltos, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb, determinados en las muestras de agua recolectadas en este trabajo, durante el semestre diciembre 2009-mayo 2010, así como las correspondientes al semestre junio-noviembre 2009 analizadas en un estudio previo por Palma (2009) [11]. En dicha tabla también se muestran las concentraciones máximas permitidas por las normas nacionales, Decreto 3.219 [24] y Decreto 883 [40], e internacionales, normas EPA [8] para aguas dulces. En el Apéndice 3 se presentan las concentraciones determinadas en las muestras de agua recolectadas en el Lago de Valencia durante el año junio 2009-mayo 2010.

Tabla 17. Intervalo de concentraciones obtenidas y valores máximos permitidos a nivel nacional e internacional.

Elementos	Intervalo de Concentraciones Jun-Nov 2009	Intervalo de Concentraciones Dic 2009-May 2010	Concentraciones Máximas Permitidas*	
			Norma Nacional ^[24] y ^[40]	Norma Internacional ^[8]
Cd	<0,02 - 0,56	< LD - 0,01	5	2
Cr	<0,09 - 4,91	< LD - 4,50	50	13
Cu	<0,3 - 7,7	< LD - 2,80	200	16
Hg	<0,009 - 0,316	< LD - 0,50	10	1
Ni	<0,03 - 6,20	< LD - 2,88	500	470
Pb	<0,3 - 4,7	< LD - 1,81	50	65

*Concentraciones en $\mu\text{g L}^{-1}$; Decreto 3219 ^[24] y Decreto 883 ^[40]; EPA ^[8] para aguas dulces.

Las concentraciones determinadas para los metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia, se encontraron por debajo de los valores máximos permitidos, tanto por las normas nacionales ^[40] como internacionales ^[8]. De acuerdo a esto, y al análisis de los parámetros fisicoquímicos, las aguas del Lago de Valencia cumplen con la normativa de la clasificación de aguas Tipo 2, Sub-tipo 2B según el Decreto 3.219 ^[24] de las normas nacionales, donde las cataloga como aguas de riego de cultivos destinados al consumo humano y para uso pecuario ^[24].

El promedio anual de las concentraciones de los metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia fueron las siguientes: Cd $0,06 \mu\text{g L}^{-1}$, Cr $0,86 \mu\text{g L}^{-1}$, Cu $0,57 \mu\text{g L}^{-1}$, Hg $0,08 \mu\text{g L}^{-1}$, Ni $1,96 \mu\text{g L}^{-1}$ y Pb $1,18 \mu\text{g L}^{-1}$. Las posibles relaciones entre la concentración y la fecha de muestreo, así como entre el sector y profundidad serán analizadas en una sección posterior. No se encontraron datos en la bibliografía con las que pudieran compararse.

- **Análisis de agrupamiento**

Se realizó un análisis preliminar de agrupamiento y otro de correlaciones múltiples para determinar la forma en que los metales y las variables fisicoquímicas

de las aguas se relacionan, para determinar la forma y posibles fuentes de la incorporación de los metales en las aguas del lago, así como para establecer las variaciones estacionales y espaciales de su concentración en las aguas.

Análisis de “Cluster”: El análisis preliminar de agrupamiento o “cluster” realizado contemplando todas las variables fisicoquímicas del sistema, determinó el dendograma de la Figura 17, en el cual destaca el agrupamiento de los metales Pb, Cd, Ni y Cu con las variables muestreo y conductividad, el del Cr que se asocia con la estación, la dureza y los fosfatos y, el del Hg con el OD, el pH y la temperatura.

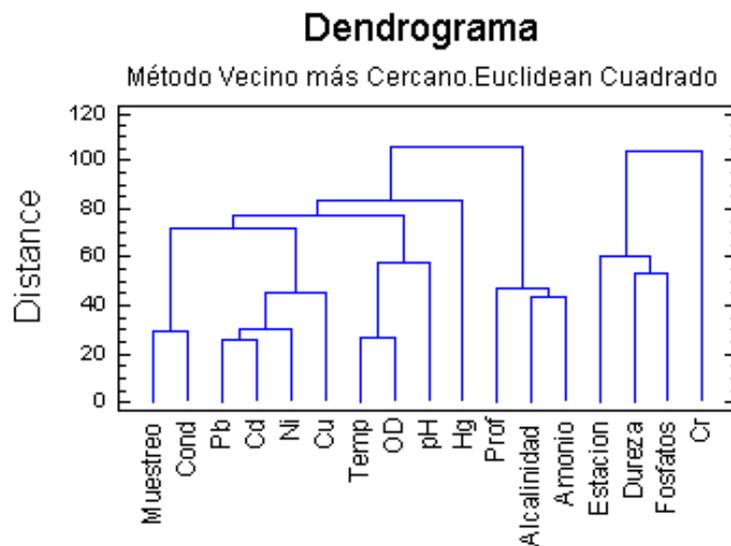


Figura 17. Dendrograma obtenido para las muestras de aguas.

Estos resultados sugieren variaciones estacionales en la concentración de los metales Pb, Cd, Ni, Cu y Hg, y variaciones espaciales en la concentración de Cr, así como un origen conjunto del Pb, Cd, Ni y Cu.

- **Estudio de correlaciones**

El estudio de correlaciones múltiples realizado, empleando como estadístico el coeficiente de Spearman, mostró correlaciones significativas ($P=0,05$) entre diferentes variables. Los datos de P obtenidos se muestran en el Apéndice 4.

Excepto el Hg, todos los elementos se encontraron correlacionados con el muestreo, dando indicios de variaciones en su concentración durante el muestreo. Por otra parte, ninguno de los elementos determinados se relacionó significativamente con la estación de muestreo ni con la profundidad, mostrando ausencia de variabilidad espacial en la concentración (entre estaciones y dentro de la columna de agua), y por oposición, homogeneidad espacial de la concentración en el cuerpo de agua.

Como se observa en la Figura 18, la concentración de los metales disueltos en el agua varió durante el muestreo. Esta variación guarda relación con el incremento del pH durante el muestreo, lo cual provoca la disminución de la solubilidad de los metales en el agua y su precipitación en el sedimento. Como la variación del pH es producida por las lluvias, se establece que la concentración de los metales disueltos en las aguas presenta variaciones estacionales.

Específicamente, la concentración de los metales disueltos Pb, Ni y Cd disminuyó apreciablemente desde el mes de junio 2009, y para el mes de octubre en adelante, la concentración del Cd tendió a valores por debajo del límite de detección, y para Ni y Pb, fueron muy bajas (Figura 18). El caso opuesto se presentó para el Cr, el cual presentó un aumento de concentración desde el mes de agosto, alcanzando el mayor valor en el mes de enero, correspondiendo al período de sequía (Figura 18). Este aumento de la concentración del Cr se observó en las estaciones E2 y E3, y podría deberse a descargas específicas provenientes de la ciudad de Valencia, a través del Río Caño Central, ya que en la E3 se encontraron importantes concentraciones de Cr biodisponibles en los sedimentos de fondo ^[48].

Las descargas en E3 alcanzarían a la E2, cercana, antes de su mezclado total en el lago.

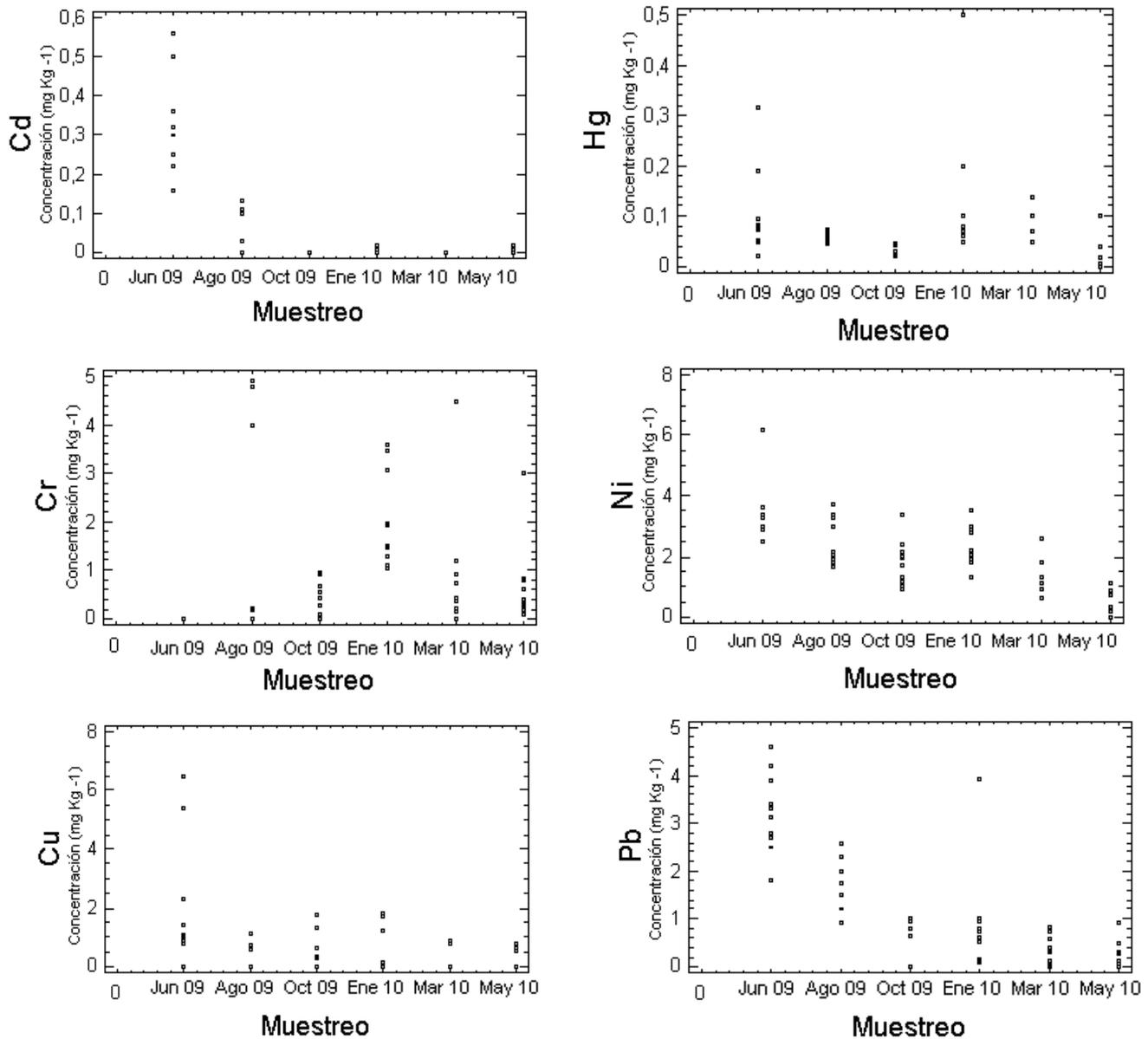


Figura 18. Concentración de metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia

Las correlaciones inter-elementales significativas determinadas se muestran en la Figura 19. Las correlaciones inter-elementales entre el Pb, Ni, Cd, Cu y Hg indicarían su procedencia de una fuente y/o vehículo común, el cual se atribuye al proceso de mezclado de las aguas que las homogeniza en su concentración. Por ello, no pueden sugerirse cuáles son las características de las principales descargas de cada zona al lago.

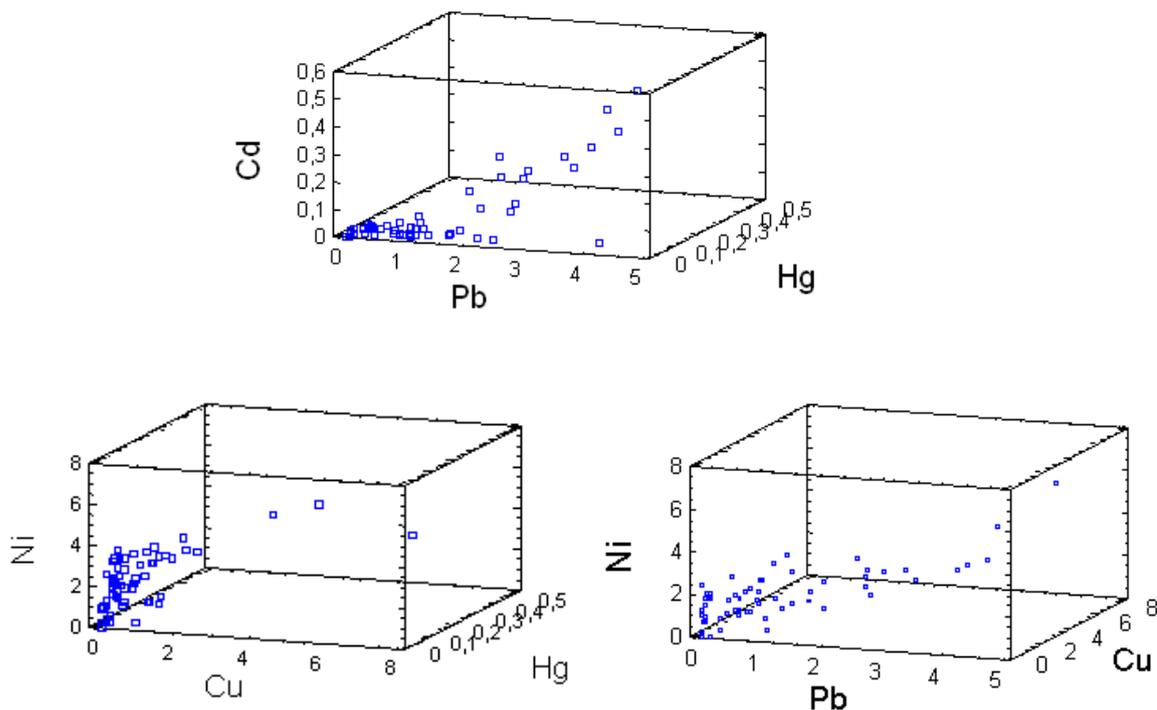


Figura 19. Correlaciones entre los metales Cd, Cu, Hg, Ni y Pb en aguas del Lago de Valencia.

Los resultados obtenidos muestran que, el análisis de las aguas solo permite establecer el aporte global de las descargas, debido a que el mezclado permanente de las aguas impide determinar los lugares de procedencia de los desechos. Así, de acuerdo a los metales determinados en las aguas, los fertilizantes empleados en las actividades antrópicas de la zona, pudieran aportar los cinco elementos que se agrupan, (Pb, Cu, Cd, Ni y Hg), así como algunos de ellos, provendrían de los fertilizantes y desecho de baterías eléctricas (Tabla 18). Mientras, el Cr provendría

de actividades metalúrgicas o metalmecánicas, principalmente desde la ciudad de Valencia, cuyos desechos se introducirían en el lago a través del tributario Río Caño Central.

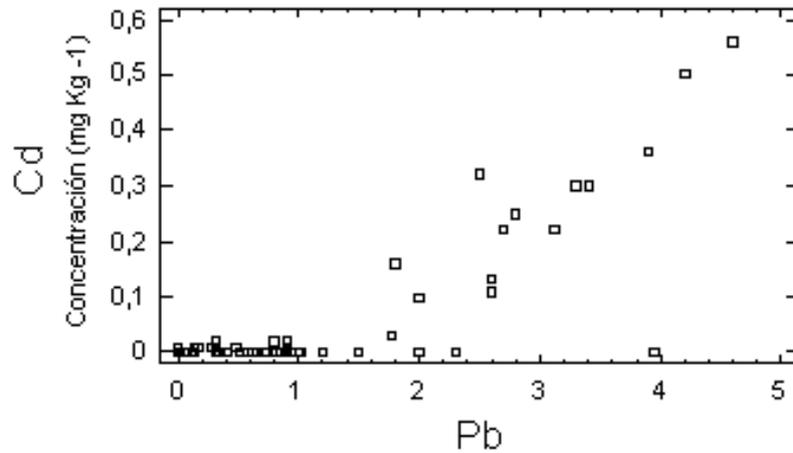


Figura 20. Correlación entre los metales Pb y Cd en aguas del lago de Valencia.

Tabla 18. Principal origen antrópico de algunos metales [13], [14], [15]

Origen industrial	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Pb	Ni	Zn
Batería eléctricas			x				x	x	
Cementos y amiantos					x				
Fertilizantes		x	x	x	x	x	x	x	x
Minería	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Motores de vehículos			x	x	x				
Pesticidas		x		x	x	x	x		x
Papeleras y similares		x		x	x	x	x		x
Pigmentos, tintes	x		x	x	x		x	x	x
Plásticos	x		x		x				x
Textiles	x			x	x				x
Cerveceras				x					x
Alimentos diversos				x	x			x	x

5.2 Concentración de metales pesados en muestras de peces

El contenido de Cd, Cr, Cu, Hg, Ni y Pb fue determinado en los tejidos de los peces capturados en el Lago de Valencia, tanto en el músculo como hígado. El número de ejemplares capturados fue de 26 ejemplares de *Oreochromis mossambicus* (Tilapia) (93%) y 2 ejemplares de *Hoplias malabaricus* (Guabina) (7%).

Las concentraciones de los metales determinadas en dichas muestras de músculo e hígado, así como los datos biométricos de los ejemplares capturados se muestran en el Apéndice 5.

En la Figura 21 se observa que el peso de los ejemplares capturados disminuyó con la fecha de muestreo, presentándose los mayores valores en el mes de junio 2009.

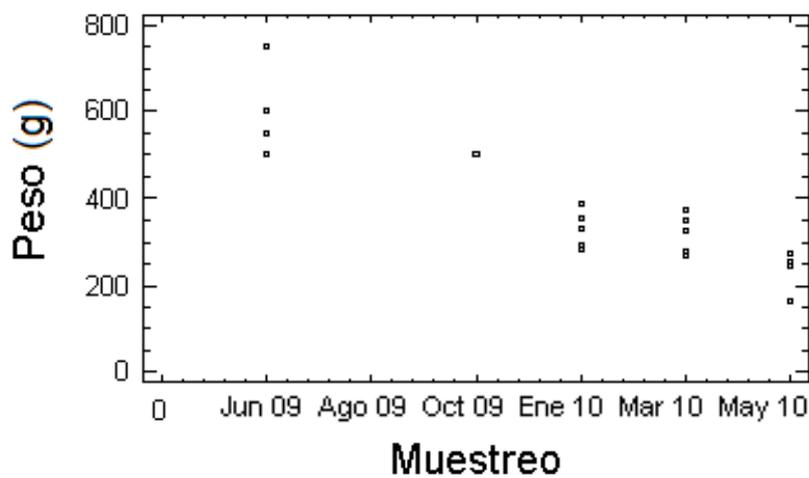


Figura 21. Peso de los peces durante el muestreo

El mes de junio correspondió a época de lluvia (Fig. 8), la cual implica la entrada de nutrientes al agua y, por consiguiente, mayor cantidad de alimentos para los peces, lo cual explicaría los pesos elevados de los peces capturados en este

mes. La disminución del peso en el resto del muestreo, puede deberse a la disminución de nutrientes en la época de sequía y la influencia del pH (muy alcalino) el cual disminuye la solubilidad de los metales en el agua y, ante todo, coloca a los peces en ambiente inhóspito para la vida.

5.2.1 Metales pesados en muestras de músculo de peces

Excepto para el Hg, las concentraciones de metales determinadas en las muestras de músculo de peces se encontraron por debajo de los valores máximos permitidos establecidos por las normas nacionales, COVENIN 1087 ^[25] y 1766 ^[26], así como por las normas internacionales Codex Alimentarius ^[27], tal como se muestra en la Tabla 19. Durante el primer semestre de muestreo junio-octubre 2009, se obtuvieron valores de Hg superiores al valor máximo permitido por la norma COVENIN 1087 ^[25] y valores de Pb que sobrepasan el valor máximo establecido por el Codex Alimentarius (0,3 mg Kg⁻¹), Por lo que, de acuerdo al contenido de estos metales, el consumo de estos peces representa un riesgo para la salud.

Tabla 19. Concentraciones en muestras de músculo de peces.

Elementos	Intervalo de concentración Obtenida Jun–Nov 2009*	Intervalo de Concentración Obtenida Dic 2009–May 2010*	Concentraciones máximas permitidas COVENIN 1087 y 1766*		
			Sardina ^[25]	Atún ^[26]	Codex Alimentarius ^[27]
Cd	0,006-0,014	< LD – 0,05	0,50	0,10	0,10
Cr	0,09-0,27	0,10 – 0,20	NR	NR	NR
Cu	0,91-0,93	0,04 – 0,80	10	10	NR
Hg	0,25-0,39	< LD – 0,02	0,10	0,50	0,50
Ni	0,4-0,8	0,07 – 0,25	NR	NR	NR
Pb	1,1-1,7	< LD – 0,20	2,0	2,0	0,30

* Concentraciones en mg Kg⁻¹ de peso seco.

Las concentraciones de los metales obtenidas en las muestras de músculo analizadas así como los datos biométricos de los peces capturados se muestran en el Apéndice 5.

En la Figura 22 se representa el intervalo de las concentraciones de los metales en el músculo de los peces, cuyos valores decrecen en el siguiente orden: Cu>Pb>Ni>Cr>Hg>Cd. El hecho de que el Cu sea el elemento de mayor concentración se debe a que este metal es esencial y está asociado a una variedad de funciones biológicas, encontrándose generalmente en concentraciones elevadas.

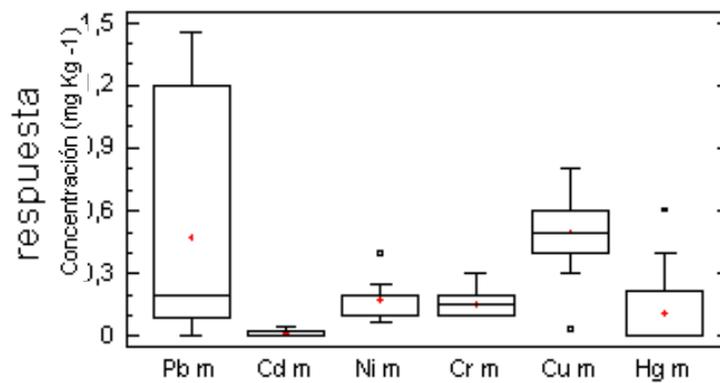


Figura 22. Gráfico de cajas y bigotes para las muestras de músculo de peces del Lago de Valencia.

Los valores de concentración obtenidos para los metales analizados en las muestras de músculo de peces, se encuentran dentro de los valores obtenidos en *Oreochromis mossambicus* (Tilapia) y *Hoplias malabaricus* (Guabinas) en los trabajos realizados en el embalse Zuata ^[39] y ^[41] (Tabla 20).

Tabla 20. Concentración promedio de los metales en músculo de peces del Lago de Valencia y Embalse Zuata.

Autor y Fecha	Cu	Cd	Cr	Ni	Pb	Hg
Aru R.(2008) ^[39]	0,4-0,8	< 0,0007-0,0100	0,04-0,30	< 0,02-0,20	< 0,01-0,50	< 0,004-0,100
Sepúlveda G. (2009) ^[41]	2-17	0,025-0,005	0,13-3,00	0,06-0,20	<0,012	0,07-0,03
Palma M. (2009) ^[11]	0,9-0,9	0,006-0,014	0,09-0,30	0,4-0,8	1,1-1,7	0,2-0,4
Este trabajo	0,04 - 0,80	<LD- 0,05	0,1 - 0,2	0,07 - 0,20	<LD - 0,20	<LD - 0,02

*Concentraciones en mg Kg⁻¹;

- **Factor de Bioconcentración**

El Factor de Bioconcentración (FBC) representa la relación de la concentración de un compuesto químico específico en un pez (sobre masa húmeda), relativa a la concentración del compuesto disuelto en el agua ^[49]. En el caso de metales tóxicos, el FBC puede evidenciar el proceso de bioacumulación de compuestos químicos en sistemas biológicos, ya que no son metabolizados por los peces, por lo que se acumulan en los tejidos grasos del pez donde su concentración aumenta con el tiempo ^[50]. En la Tabla 21 se muestran los valores obtenidos de FBC para las muestras de músculo de peces y el valor límite establecido ^[49]. Las concentraciones de los metales en el músculo de peces empleadas en el cálculo del FBC fueron recalculadas en base a materia húmeda. En el Apéndice 6 se muestran todos los resultados.

Tabla 21. Factor de Bioconcentración en músculo de peces del Lago de Valencia. Muestreo: Junio 2009-Mayo 2010.

Muestreo	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
Ene-10	21	0	12	12	200	14
Mar-10	3	6	0	0	0	0
May-10	51	0	0	0	0	0
Jun-09	86	0	0	0	0	1
Valor Recomendado^[49]	155	366	NR	2	NR	5

*meses donde hubo captura de peces.

Los valores de FBC encontrados para los elementos analizados, no superan el valor recomendado, a excepción del Hg y el Cr en el mes de enero 2010, cuando se evidencia un proceso de bioacumulación en la biota evaluada. Arú en 2008 ^[39] encontró indicios de bioacumulación para los elementos Hg y Ni en la biota evaluada (Guabinas (*Hoplias malabaricus*)) en el embalse Zuata.

5.2.2 Metales pesados en muestras de hígado de peces

En la Tabla 22 se muestran los intervalos de concentración de los metales determinados en las muestras de hígado de peces. Las concentraciones determinadas en cada muestra, aparecen en el Apéndice 5 junto a los datos biométricos de los ejemplares capturados.

Aunque las normas COVENIN ^[25] y ^[26] y las normas internacionales no aplican para tejido de hígado, es importante aclarar que en éste órgano se encontraron concentraciones de Cu y Hg mayores que los límites permitidos en sardinas ^[25] y en atunes ^[26], asimismo, el contenido de Cd se encontró en el límite establecido por las

normas internacionales ^[27], y para el Pb superiores a dicho límite, por lo que el consumo de estos órganos podría representar un riesgo para la salud.

En general, el hígado funciona como filtro de la sangre en los seres vivos, eliminando las impurezas. Este funcionamiento es equivalente en los peces, por lo que el contenido metálico introducido por medio de la ingesta, se acumula en mayores concentraciones en el hígado que el acumulado por el músculo.

Tabla 22. Concentraciones obtenidas para las muestras de hígado de peces.

Elementos	Intervalo de concentración Obtenida Jun–Nov*	Intervalo de Concentración Obtenida Dic 2009–May 2010*	Concentraciones máximas permitidas COVENIN 1087 y 1766*		Codex Alimentarius ^[27]
			Sardina ^[25]	Atún ^[26]	
Cd	0,04-0,1	0,004 – 0.070	0,50	0,10	0,10
Cr	0,04-0,96	0,10 – 0,50	NR	NR	NR
Cu	24-32	2,60 – 9,00	10	10	NR
Hg	0,08-0,2	< LD – 0,001	0,10	0,50	0,50
Ni	0,4-1	0,10 – 1,00	NR	NR	NR
Pb	0,6-1	0,06 – 0,40	2,0	2,0	0,30

*Concentraciones en mg Kg⁻¹

Las concentraciones promedio obtenidas en el hígado, decrecen en el siguiente orden: Cu>Pb>Ni>Cr≈Hg>Cd, tal como se observa en la Figura 23.

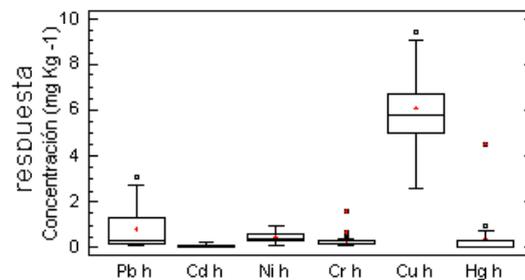


Figura 23. Gráfico de cajas y bigotes para las muestras de hígado de Peces del Lago de Valencia.

Las concentraciones de los elementos obtenidas en el hígado de peces capturados en el Lago de Valencia, son mayores que las correspondientes en el músculo. En la Figura 24, se observa que la concentración de los elementos en ambos tejidos sigue una relación Log_{10} . 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 entre las concentraciones de los metales en tejido e hígado ^[51].

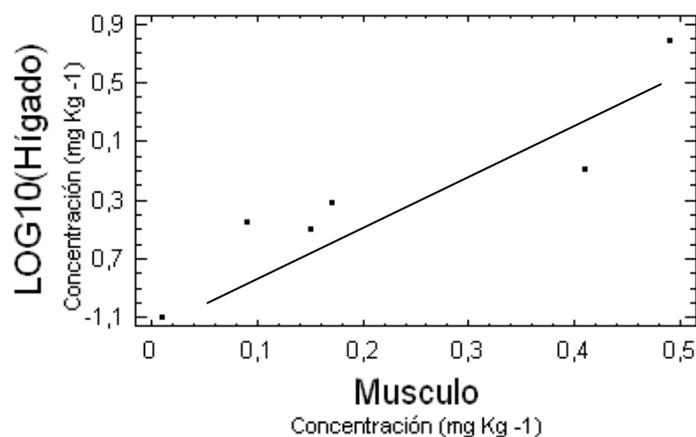


Figura 24. Concentraciones encontradas en las muestras de tejidos de peces.

- ***Análisis de agrupamiento en las muestras de tejidos de peces del Lago de Valencia***

Los análisis de agrupamiento permiten determinar la forma en que se asocian los metales y otras variables, lo cual ayuda a establecer posibles formas de introducción y orígenes de los metales.

Análisis de “Cluster”. El análisis preliminar de agrupamiento o “Cluster” realizado determinó los dendogramas de la Figura 25. En los dendogramas obtenidos para cada tejido, destacan los agrupamientos entre la talla y el peso de los peces, y de estas variables con el Pb en ambos tipos de tejido, el aislamiento del Cu en ambos tipos de tejidos (Figura 25 (a) y (b)) y el agrupamiento de Ni y el Cr en el músculo (Figura 25 (a)). En el dendograma obtenido para toda la data,

correspondiente a músculo e hígado de peces (Figura 25 (c)), se observa el agrupamiento de los elementos Cd y Hg con el Pb, en ambos tipos de tejidos, asociado con los datos biométricos de talla y peso del pez, así como el agrupamiento del Cu, en ambos tipos de tejidos, separado del resto de los elementos.

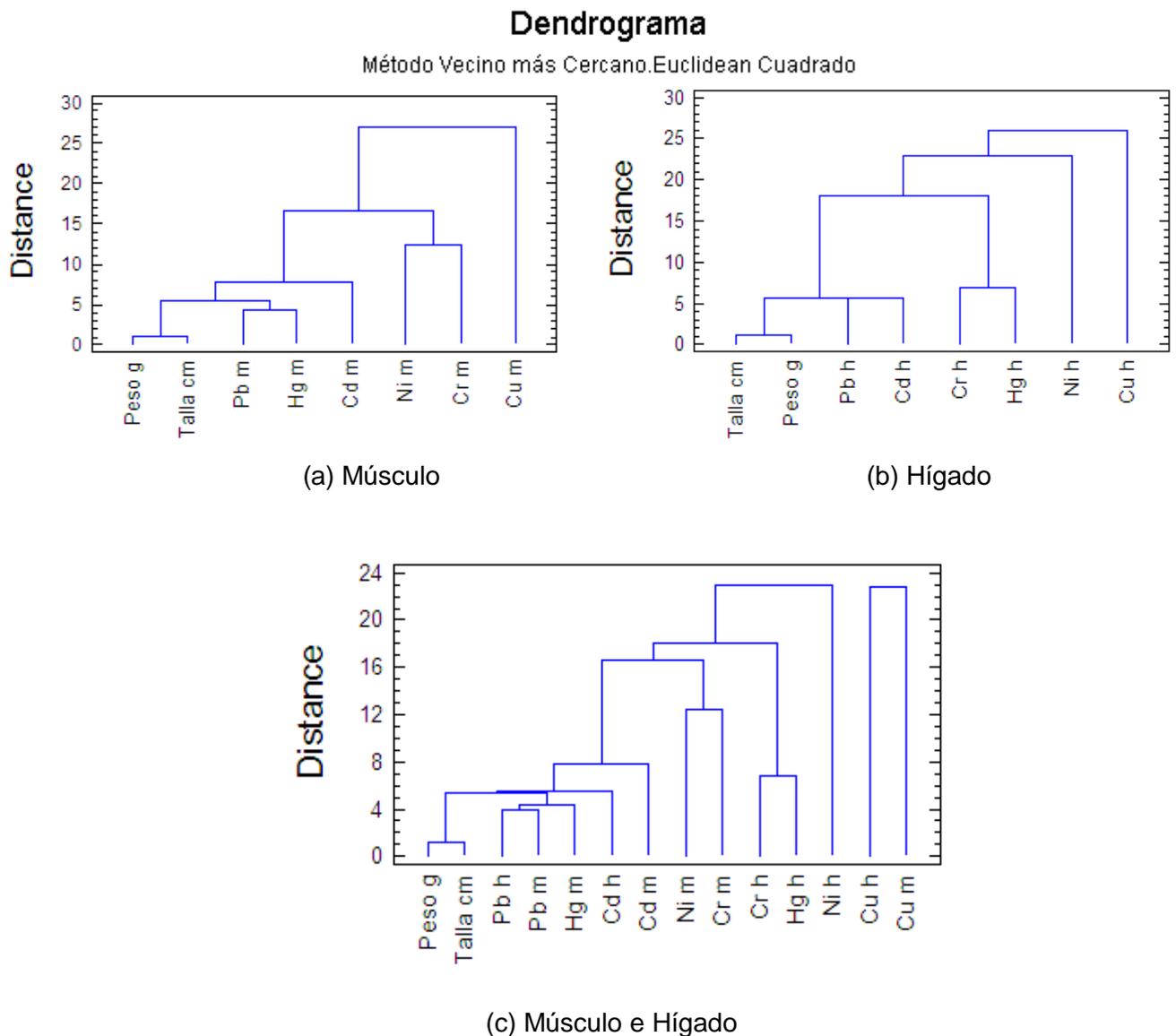


Figura 25. Dendrograma obtenido para las muestras de tejidos de peces.

- **Estudio de correlaciones múltiples**

En el estudio de correlaciones múltiples, empleando como estadístico el coeficiente de Spearman, se obtuvieron las siguientes correlaciones significativas ($P=0,05$):

- El peso con: la talla, Pb, Cd, Ni y Hg en hígado y con el Pb, Cd y Hg en músculo.
- La talla con: Pb, Cd, Ni, y Hg en hígado y con Pb, Cd y Hg en músculo.
- Se presentaron correlaciones entre la concentración de cada elemento en ambos tipos de tejidos, excepto para el Cr. Las correlaciones entre el Pb y los elementos Cd, Ni y Hg se encontraron en ambos tipos de tejido. Asimismo, se encontró la del Pb y Cd entre ambos tipos de tejidos. La asociación del Pb con el Cr solo se presentó en el músculo, así como la del Cr con el Ni y el Hg. En el Apéndice 7 se muestra el valor P para cada correlación.

En la Figura 26 se muestran las correlaciones para algunos de los elementos en el hígado con la talla y peso. Las correlaciones entre la concentración de los elementos en ambos tejidos con el peso y la talla indicaría cierto nivel de bioacumulación, proceso que indica la acumulación un compuesto químico, ya sea por la captación directa del agua y/o por ingestión ^[52]. La tilapia (*Oreochromis mossambicus*), es una especie depredadora con gran resistencia física y de rápido crecimiento ^[53]. No se encontró información sobre el tiempo de vida de la especie.

En la Figura 27 se muestran las correlaciones determinadas entre el Pb y otros elementos en el hígado de pez. Las correlaciones obtenidas para el Pb con la mayoría de los metales, en ambos tejidos, indicaría que el grupo de elementos sería introducido simultáneamente mediante la dieta de los peces.

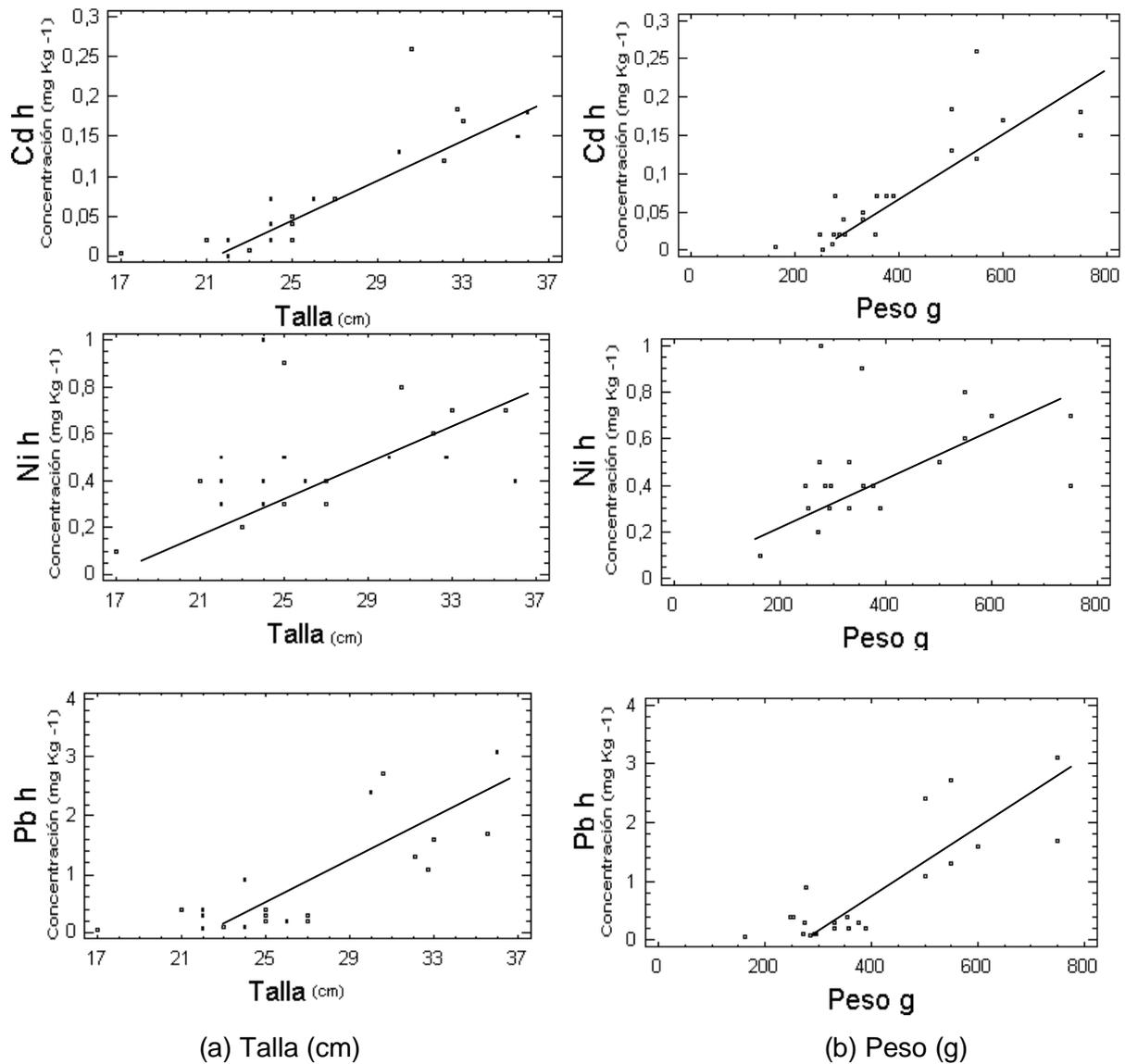


Figura 26. Correlaciones obtenidas entre la concentración de los metales en el hígado con respecto a la talla y peso del pez.

Se estudiaron posibles diferencias en la captación y acumulación de metales entre géneros (sexo) en cada tejido analizado (ANOVA de una vía $P=0,05$). Los resultados indicaron (Apéndice 7) que solamente existen diferencias significativas en la concentración de Pb y Cd en el hígado de las hembras. Esta correlación pudiera ser reflejo de la correlación significativa obtenida entre estos

elementos con la talla y el peso, y a su vez, del hecho de que las hembras fueron capturadas en el mes de junio, cuando se presentaron los mayores pesos de los ejemplares capturados.

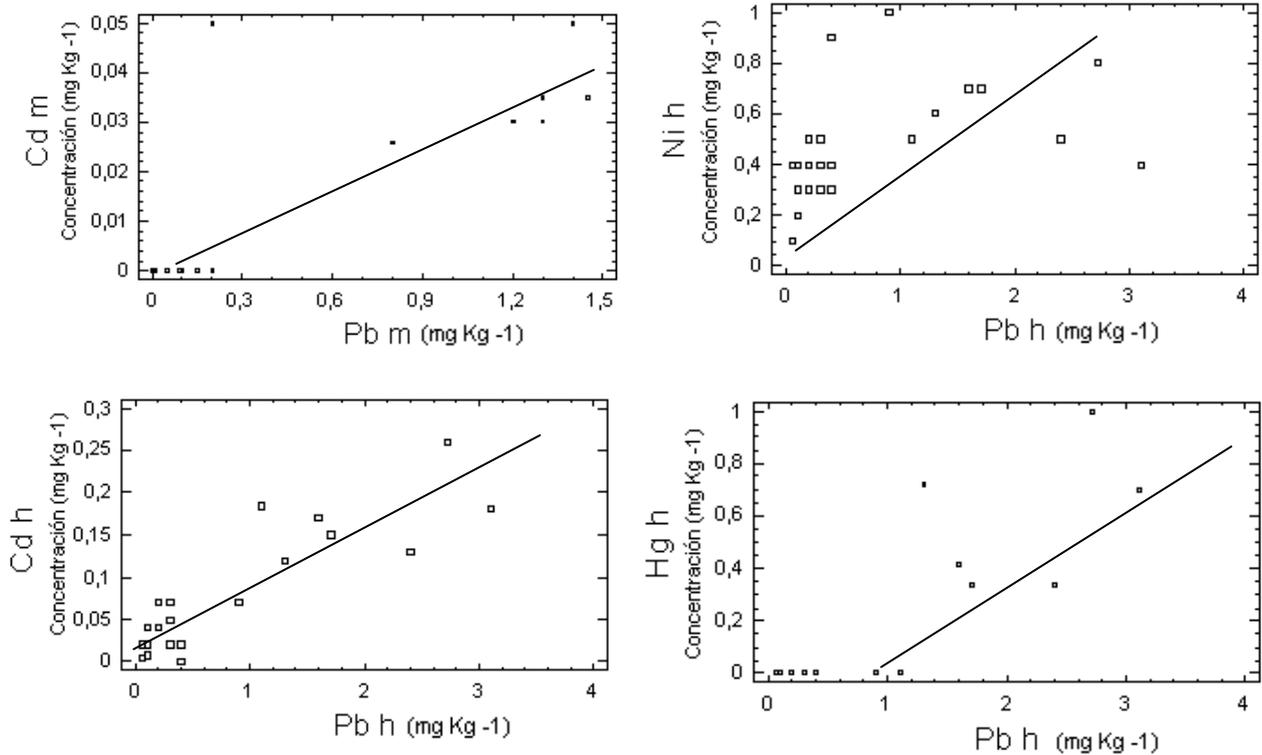


Figura 27. Correlaciones determinadas entre el Pb y otros elementos en el hígado y músculo del pez.

Relación entre concentraciones de metales en tejidos de peces y disueltos en aguas

Aunque la concentración de los metales analizados en las muestras de tejidos de peces es superior (2000 a 12000 veces) que en el agua, el orden de concentración es similar entre el hígado ($\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} \approx \text{Hg} > \text{Cd}$) y el músculo ($\text{Cu} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Hg} > \text{Cd}$) y diferente al que se encontró en las aguas ($\text{Ni} > \text{Pb} > \text{Cr} >$

Cu > Hg > Cd) (Tabla 23). Esta diferencia sugiere que el principal aporte de los elementos en la dieta de estos peces depredadores, no es el agua, sino el zooplancton y los sedimentos suspendidos en el agua.

Tabla 23. Valores promedios de concentración en las aguas, peces y sedimentos del Lago de Valencia (Jun-Oct 2009).

	Ni	Pb	Cr	Cu	Hg	Cd
Músculo	0,17	0,41	0,15	0,49	0,09	0,01
Hígado	0,48	0,82	0,32	6,09	0,36	0,08
Aguas	1,96	1,18	0,86	0,57	0,08	0,06

*Concentraciones en mg Kg⁻¹; µg L⁻¹ para valores de concentración en aguas.

VI. CONCLUSIONES

- La concentración de los metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia, no superan los valores máximos permitidos por las normas nacionales (Decreto 3.219 y Decreto 883) para las aguas destinadas a usos agropecuarios, específicamente como aguas de riego de cultivos, ni por la normativa internacional (EPA) para aguas dulces, por lo que su uso no representa ningún riesgo ambiental de acuerdo al contenido metálico disuelto.
- La concentración de los metales disueltos en las aguas del Lago de Valencia, no presentaron variaciones espaciales, ni entre sectores del lago ni dentro de la columna de agua, debido al mezclado de las aguas del lago por los vientos. El efecto negativo de la descarga al lago a través de los contribuyentes, que aumenta durante la época de lluvias, no se observa en la concentración de los metales disueltos en el agua, observándose por el contrario una disminución de la concentración debido al aumento del pH que se observa en esta época.
- Las correlaciones significativas encontradas entre los elementos, sugiere que su introducción a las aguas tiene un origen común, aunque el mezclado de las aguas es la razón más importante, por lo que puede ser atribuida a la contribución global de todos los aportes antrópicos al lago, relacionadas principalmente con actividades agropecuarias (fertilizantes y pesticidas) e industriales (metalúrgicas y baterías) de los diversos centros urbanos e industriales que se levantan alrededor del lago, cuyos desechos llegan a través de los contribuyentes al lago.
- La concentración de Cd y Cu obtenidos en tejidos de peces se encontraron por debajo de los valores máximos permitidos establecidos por las normas

nacionales (COVENIN 1087 y COVENIN 1766) y las normas internacionales Codex Alimentarius. Sin embargo, las de Hg y Pb en el músculo sobrepasan o están cercanos, respectivamente, al valor máximo establecido por el Codex Alimentarius. Esto, unido a los indicios de bioacumulación de Hg y Cr obtenidos en algunos ejemplares señalan que el consumo de estos peces pone en riesgo la salud humana.

- La concentración de los metales en los tejidos de los peces del Lago de Valencia, guarda relación con el contenido metálico disuelto en sus aguas.

VII. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio sobre el contenido de metales pesados disueltos en las aguas de los tributarios cuando descargan al lago de Valencia, para determinar el contenido vertido al lago y las diferencias espaciales.
- Realizar un análisis del contenido de metales pesados presentes en la vegetación (fitoplancton, cianobacterias, etc) que habita en las aguas del Lago de Valencia, que son la primera etapa de la cadena trófica.
- Realizar una evaluación sobre el contenido metálico y otros contaminantes, en las aguas servidas industriales y agropecuarias de los diferentes centros industriales que se levantan en los alrededores del Lago de Valencia.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Mancera, N.J. y León, R.A., (2006), Estado del Conocimiento de las Concentraciones de Mercurio y otros metales pesados en Peces Dulceacuías de Colombia, *Acta Biológica Colombiana*, 11 (1), 3-23.

[2] Lenntech Water Treatment Solutions, (1998-2009), Metales Pesados, Disponible en: <http://www.lenntech.es/metales-pesados.htm#ixzz0mzi3WprN> Revisado Enero 2010.

[3] García, L., Soto, M.S., Jara, M.E y Gómez, A., (2004), Fracciones geoquímicas superficiales de zonas ostrícolas del estado de Sonora, México, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20 (4), 159-167.

[4] Rodríguez, L., Señor, W. y Martínez, G., (2006), Comportamiento de los metales trazas Cu, Pb; Mn y Zn, en fracciones geoquímicas de núcleos de sedimentos de la Laguna Unare, Venezuela, *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras*, 24(1), 37-41.

[5] Márquez, A., Senior, W., Fermín, I., Matínez, G., Castañeda, J. y González, A., (2008), Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, Estado Anzoátegui, Venezuela, *Revista Científica FCV-LUZ*, 18(1), 73-86.

[6] Blanes, P.S y Gimenez, M.C., (2005) Cuantificación y correlación de arsénico y metales pesados en aguas naturales de la región centro-oeste de la provincia Chaco- Argentina. Universidad Naciones del Nordeste, *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas* 2005, Resumen E-047. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/com2005/8-Exactas/E-047.pdf> Revisado Enero 2010.

[7] **Del Río Anaya, M. y Luna Encinas, J. A.**, (2007), Determinación de metales pesados en agua residual en proceso de Galvanoplastia. *Estrucplan On Line*, Artículo 1533.

[8] **United States Environmental Protection Agency (EPA)**, (2006), National Recommended Water Quality Criteria. Disponible en: <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/wqctable/>

[9] **Rosas Rodríguez H.**, (2001), Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0712101-075103/> Revisado Diciembre 2009.

[10] **Oliveres, C.**, (2003), Estudio de la contaminación por metales pesados de la cuenca del río Llobregat- España. Tesis. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: http://www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX0712101075103//04ComponentesAguas01.pdf

[11] **Palma, M.G.**, (2009), Evaluación del contenido de Metales Pesados en Agua y Peces del Lago de Valencia. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

[12] **Raudel Ramos, O.**, (2002), Agua en el ambiente: muestreo y análisis. Universidad Autónoma de Baja California. Primera edición, 210, México. Disponible en: http://books.google.co.ve/books?id=b8lxhcHPEYC&pg=PT1&lpg=PT1&dq=agua+en+el+ambiente:+muestreo+y+analisis%2BUniversidad+Aut%C3%B3noma+de+Baja+California.&source=bl&ots=Trs5QG8Azh&sig=O0peFjMiAcqz_KGqwdALIdizJ3l&hl=es&ei=iEEETOX4CIGC8gaT2NHLDQ&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=4&ved=0CCIQ6AEwAw#v=onepage&q&f=false Revisado en Diciembre 2009.

[13] **Forstner U. y Wittmann G.T.W.**, (1981), Heavy Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer-verlag. Berlin. Heidelberg New York. Segunda edición, 3-70.

[14] **Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo**, (1982), Los residuos tóxicos y peligrosos. Dirección General del Medio Ambiente, Madrid.

[15] **Klein L.A., Lang M., Nash M. y Kirschner S.L.**, (1974), Sources of metals in New York City wastewater, *Journal water Pollution Control Fed*, 46, 2653-2663.

[16] **Smith, R.**, (1997), Environmental Analysis. 3^{era} edición. Sección 2, 177-179. Genium Publishing Corporation. Estados Unidos.

[17] **Jiménez, B.**, (2001), La contaminación ambiental en México, Editorial Limusa, S.A de C.V, Grupo Noriega Editores. México. Disponible en: <http://www.buscarlibrospdf.com/la-contaminacion-ambiental-en-mexico-causas-efectos-y-tecnol.html> Revisado en Diciembre 2009.

[18] **Gonzalez M.J., Fernandez M. y Hernandez M.L.**, (1990), Influence of acid mine water on the distribution of heavy metals in soils of Doñana National Park. Application of multivariate analysis, *Environmental technology*, 11, 1025-1032.

[19] **Mercado leal, S.**, (2004), Acumulación de metales pesados en microcrustáceos planctónicos provenientes de un embalse contaminado por relaves mineros, Embalse Rapel, Chile. Trabajo Especial de Grado. Universidad Austral de Chile. Chile. Disponible en: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fcm553a/doc/fcm553a.pdf>

[20] **Cambero J.P.**, (2002), Estudio actual de la contaminación por metales pesados y pesticidas organoclorados en el Parque Natural Monfrangüe. Universidad central de Extremadura. Facultad de Veterinaria. Departamento de medicina y sanidad animal. España.

[21] **Skoog D., Holler J. y Nieman T.**, (2001), Principios de análisis instrumental, Quinta edición, Editorial Mc Graw Hill, Madrid, España.

[22] **Skoog, D. A.; West, D. M.; Holler, F. J. Crouch.**, (2001), Química Analítica 7^{ma} edición, McGraw-Hill, México.

[23] **United States Environmental Protection Agency (EPA)**, (1996), Method 3052, Microwave Assisted Acid Digestion of silicious and organically based matrices. Disponible en: <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3052.pdf>

[24] **Decreto 3.219**, (1999), Normas para la clasificación y control de la calidad de las aguas del de la cuenca del Lago de Valencia. Gaceta Oficial Extraordinaria 5.021.

[25] **Norma venezolana COVENIN 1087** “Sardinas en conserva”. 5ta revisión 1998. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/action/normas-find>

[26] **Norma venezolana COVENIN 1766** “Atún en conserva”. 3ra revisión 1995. Disponible en: <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/action/normas-find>

[27] **Codex Alimentarius** Alinorm 93/18. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.net/web/archives.jsp?year=93> Revisado Abril 2010.

[28] **Mogollón J.L.**, (1990), Comportamiento geoquímico de elementos metálicos en una Cuenca tropical contaminada Valencia, Venezuela. Tesis Doctoral. Universidad Central de Venezuela.

[29] **Mogollón, J.L, and Bifano, C.**, (1993), Mobil Metallic elements in a urbanized tropical catchment Lake Valencia, Venezuela. *Chemical Geology*, 107, 431-434.

[30] **Mogollón, J.L, and Bifano, C.**, (1996), Geochemistry and anthropogenic inputs of metals in a tropical lake in Venezuela. *Applied Geochemistry*, 11, 605-616.

[31] **MARN- JICA.**, (2000), Estudio integral de los tributarios de la Cuenca del Lago de Valencia, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Convenio MARN-JICA.

[32] **MARN**, (2001). Concentración de metales pesados en aguas, sedimentos, tejido muscular, hígado y vísceras de peces del Lago de Valencia, Estado. Aragua. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Instrumentos Jurídicos Nacionales para la Gestión del Mercurio, sus compuestos y sus Desechos. Disponible en: <http://www.unep.org/hazardoussubstances/LinkClick.aspx?fileticket=OXi9wjxZWjo%3D&tabid=4325&language=en-US>

[33] **Villafañe, R., Hernández, R. y Sánchez, N.** (2002). Impacto del riego con aguas servidas en suelos de la cuenca del Lago de Valencia. *Agronomía Tropical* 52(1):89-108.

[34] **Martinez M.**, (2003), Caracterización geoquímica de las aguas subterráneas de la cuenca del Lago de Valencia, Edo. Carabobo, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad central de Venezuela.

[35] **Valles A., Leal N., Garrido N.** (2004), Situación actual de la calidad del agua en la cuenca del Lago de Valencia. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. XII Cumbre Ecológica Industrial. Venezuela.

[36] **Luna M.**, (2006), Estudio de los procesos geoquímicos que controlan la composición química de las aguas subterráneas en el sector Güigüe, Lago de Valencia, Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

[37] **Bifano C y Mogollón, J.L.**, (1995), Identification of Anthropogenic Organic Contamination Associated with the Sediments of a Hypereutropic Tropical Lake, Venezuela. *Environmental Geochemistry and Health*. 17, 113.

[38] **González H. Yorbin J.**, (2008), Estudio del estado ambiental de los sedimentos del Embalse Zuata, Edo. Aragua”. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela.

[39] **Aru R.** (2008), Estudio del contenido de metales pesados en aguas y peces del Embalse Zuata - Edo Aragua. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela.

[40] **Decreto 883**, (1995), Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Gaceta Oficial Extraordinaria 5.021.

[41] **Sepúlveda G.**, (2008), Estudio ambiental del Embalse Zuata de acuerdo al contenido de metales pesados en sus aguas, peces y sedimentos. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

[42] **Google Earth**, (2010). Lago de Valencia. Latitud 10°12'3.64"N Longitud 67°44'15.91"O.

[43] **Alzualde Z.**, (2008), “Estudio de la pre-concentración de metales mediante extracción en el punto de niebla (Cloud Point Extraction CPE) y su aplicación al análisis de aceites comestibles”, Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Venezuela.

[44] **Perkin Elmer**, “The THGA graphite furnace: Techniques and recommended conditions”. Part number B050-5538, Publication B3210.10

[45] **Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH)**, (2009). “Datos de precipitación mensual”. Boletín Climatológico Mensual. Caracas, Venezuela.

[46] **Analysis Handbook**, “Parámetros FísicoQuímicos: Alcalinidad”. Disponible en: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf> Revisado en Septiembre 2010.

[47] **Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR)**, (2002). “Reseña toxicológica del Amoníaco”. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EEUU, Servicio de Salud Pública. Atlanta, EEUU.

[48] **González A., (2010)**. “Composición química y estudio ambiental de los sedimentos del Lago de Valencia. Edo Aragua – Edo. Carabobo”, Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela.

[49] **Technical Support Document for Exposure Assessment and Stochastic Analysis**. (2000). “Apéndice H: Fish Bioconcentration Factors”. Disponible en: http://oehha.ca.gov/air/hot_spots/index.html Revisado en Septiembre 2010.

[50] **Baird C.**, (2001). “Química Ambiental”. Segunda Edición. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.

[51] **Mustafa C. y Gülüzar 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.

[52] **Figueruelo, J. y Dávila M.**, (2004), “Química-Física del ambiente los procesos medioambientales”. Editorial Reverté S.A. Barcelona, España.

[53] **González R.**, (2003), “Características y perspectivas del cultivo de la tilapia”.
Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos20/tilapia/tilapia.shtml> Revisado
Octubre 2010.

IX. APÉNDICES

Apéndice 1. Clasificación de las aguas en Venezuela.

Tabla 1. Clasificación de la aguas en Venezuela (Decreto 3.219,1999) ^[24]

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.		

Tabla 2. Nivel máximo permitido de contaminante en las aguas del Lago de Valencia, (Decreto 3.219,1999) ^[24]

Tipo y Definición	Sub-tipo	Contaminante	Concentración (mg L⁻¹)
<p>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.</p>	1A	As	0,050
		Cr	0,050
		Cd	0,010
		Cu	1,000
		Fe	1,000
	1B	Mn	0,100
		Hg	0,001
		Pb	0,050
		Zn	5,000
<p>2 Aguas destinadas a usos agropecuarios.</p>	2A	As	0,050
		Cr	0,050
		Cd	0,005
		Cu	0,200
		Fe	1,000
	2B	Mn	0,500
		Hg	0,001
		Ni	0,500
		Pb	0,050
		V	10,00
Zn	5,000		
<p>4 Aguas destinadas a balnearios.</p>	4A	Metales	No detectables*
	4B		

Apéndice 2. Programa de Digestión de las muestras de peces en el Digestor de Microondas, CEM MDS 2000.

a. Programa para 4 envases:

Etapa	(1)	(2)	(3)
Potencia (%)	60	90	90
Presión (PSI)	40	85	135
Tiempo (min)	15:00	15:00	10:00
TAP* (min)	10:00	10:00	10:00
Fan Speed, %	100	100	100

* TAP: tiempo que permanece la muestra a la presión indicada.

b. Programa para 6 envases:

Etapa	(1)	(2)	(3)
Potencia (%)	65	90	90
Presión (PSI)	40	85	135
Tiempo (min)	15:00	15:00	10:00
TAP* (min)	10:00	10:00	10:00
Fan Speed, %	100	100	100

* TAP: tiempo que permanece la muestra a la presión indicada.

Apéndice 3. Concentraciones de metales disueltos en aguas del Lago de Valencia y parámetros fisicoquímicos.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Lago de Valencia durante el muestreo.

Muestreo	Estación	Prof (m)	Temp (° C)	OD (mg/L)	Cond (µS/cm)	pH	Alcalinidad (mgCaCO3/l)	Dureza (mgCaCO3/l)	Amonio (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Enero 2010	1	0	26,6	3,92	1824	9,1	406	459	199	914
	1	20	26,5	2,37	1824	9	-	-	-	-
	1	40	26,5	2,2	1826	8,9	398	454	470	901
	2	0	27,8	11,3	1819	9,2	400	461	267	874
	2	8	26,6	2,69	1822	9	-	-	-	-
	2	16	26,5	1,16	1824	8,9	400	462	345	922
	3	0	26,9	9,22	1822	9,3	398	461	378	867
	3	9	26,6	5,02	1823	9,1	-	-	-	-
	3	18	26,5	4,68	1824	9	398	457	220	908
	4	0	28	7,32	1829	7,8	400	460	89	911
	4	10	26,5	3,97	1822	7,8	-	-	-	-
	4	20	26,4	4,57	1821	7,8	398	465	245	917
	5	0	27,7	6,91	1823	8,7	404	459	198	919
	5	14	26,6	1,87	1823	8,7	-	-	-	-
	5	28	26,5	1,27	1824	8,6	404	458	323	927
Marzo 2010	1	0	28,9	7,05	1839	9,2	408	470	162	595
	1	20	26,6	0,46	1838	9	410	464	145	766
	1	40	26,2	0,07	1835	8,9	410	457	418	924
	2	0	29,9	9,51	1835	9,3	408	464	147	896
	2	8	27,4	2,4	1839	9,2	-	-	-	-
	2	17	27,3	2,03	1838	9,1	410	465	283	924
	3	0	30,4	10,91	1812	9,5	406	465	71	864
	3	9	27,4	4,21	1834	9,1	-	-	-	-
	3	18	27,4	4,07	1835	9,1	408	461	124	900
	4	0	30,8	9,39	1838	9,3	408	464	64	893
	4	10	27,6	5,5	1834	9,1	-	-	-	-
	4	20	26,5	0,26	1838	9	408	462	112	937
	5	0	28,2	6,59	1838	9,3	408	461	94	900
	5	14	26,6	0,21	1837	8,9	-	-	-	-
	5	27	26,4	0,05	1837	8,9	408	461	315	974
Mayo 2010	1	0	28,8	9,58	1802	9,6	390	473	172	838
	1	20	27,5	0,19	1846	9,2	417	464	317	654
	1	40	26,5	0,18	1850	8,9	404	462	741	659
	2	0	29,1	8,43	1813	9,4	390	462	302	661
	2	8	28,4	3,71	1818	9,3	-	-	-	-
	2	16	28,2	1,5	1825	9,3	396	461	275	669
	3	0	30,5	16,8	1803	9,5	393	462	208	750
	3	9	28,5	5,58	1818	9,2	-	-	-	-
	3	18	28,3	1,44	1824	9,1	410	464	213	777
	4	0	30,5	15,3	1807	9,4	369	460	193	843
	4	10	28,4	5,74	1823	9,1	-	-	-	-
	4	20	27,6	0,17	1843	8,7	398	468	276	946
	5	0	29,6	7,47	1830	9,3	392	468	192	89837
	5	14	28	1,21	1833	9,2	-	-	-	-
	5	28	26,8	0,12	1852	8,9	406	470	670	1051

* Meses Enero- Mayo 2010 corresponden a los meses muestreados durante este T.E.G.

Tabla 1. (Continuación) Parámetros fisicoquímicos de las aguas del Lago de Valencia durante el muestreo.

Muestreo	Estación	Prof (m)	Temp (° C)	OD (mg/L)	Cond (µS/cm)	pH	Alcalinidad (mgCaCO ₃ /l)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)	Amonio (mg/L)	Fosfatos (mg/L)
Junio 2009	1	0	27,4	5,89	1900	8,85	390	444	37	262,9
	1	20	27,3	4,47	1908	8,8	396	449	63	312,9
	1	40	26,2	0	1909	8,63	414	446	497	429,03
	2	0	28,6	8,55	1897	8,88	394	453	58	480,65
	2	8	27,4	3,71	1893	-	-	-	-	-
	2	17	27,3	3,04	1893	8,88	394	450	98	482,26
	3	0	28,6	14,06	1892	9,02	396	449	32	651,61
	3	9	27,5	6,27	1903	-	-	-	-	-
	3	18	27,4	4,47	1905	8,88	396	449	101	874
	4	0	28,3	9,69	1901	8,95	390	449	48	-
	4	10	27,6	6,65	1902	-	-	-	-	-
	4	20	27,5	6,37	1902	8,87	392	448	57	901
	5	0	28,1	5,61	1893	8,86	396	451	71	917
	5	14	27,1	4,18	1900	-	-	-	-	-
5	27	26,8	0	1901	8,75	396	459	179	950	
Agosto 2009	1	0	28,9	6,08	1930	9,07	392	451	137	487
	1	20	27,6	3,8	1936	9,05	396	451	176	625
	1	40	26,4	0	1942	8,7	428	449	729	722
	2	0	29,7	11,4	1879	9,21	392	450	175	677
	2	8	27,9	3,42	1888	-	-	-	-	-
	2	16	27,7	2,95	1887	9,05	396	451	187	691
	3	0	32,4	17,48	1886	9,35	394	452	183	814
	3	9	28,1	6,94	1886	-	-	-	-	-
	3	18	27,8	4,56	1887	9,06	396	450	174	887
	4	0	31,4	12,35	1889	9,23	396	453	275	870
	4	10	28,1	6,84	1890	-	-	-	-	-
	4	20	28	5,61	1890	9,06	398	451	152	893
	5	0	29,2	5,32	1907	9	392	451	207	912
	5	14	27,5	2,76	1906	-	-	-	-	-
5	28	27,2	0	1906	8,88	398	450	471	983	
Octubre 2009	1	0	29,5	6,75	1874	9,12	386	446	151	324
	1	20	28,1	0,57	1877	9,06	390	446	350	370
	1	40	26,7	0	1930	8,38	466	451	1307	470
	2	0	30,2	12,54	1876	9,21	400	446	247	369
	2	8	28,4	3,9	1883	-	-	-	-	-
	2	17	28,3	2	1886	9,04	400	446	327	388
	3	0	31,7	10,45	1874	9,15	390	450	198	414
	3	9	28,3	4,28	1878	-	-	-	-	-
	3	18	28,3	2,18	1879	9,06	400	448	229	470
	4	0	31,2	10,26	1951	9,16	400	446	38	474
	4	10	28,2	4,37	1940	-	-	-	-	-
	4	20	28,1	3,71	1940	9,06	400	448	158	548
	5	0	29,3	8,93	1921	9,13	392	447	191	604
	5	14	28,2	3,99	1923	-	-	-	-	-
5	27	28,1	0	1927	9,02	396	448	245	667	

* Meses Junio - Octubre 2009 corresponden a los meses muestreados en Palma (2009) ^[11]

Tabla 2. Concentraciones de metales disueltos ($\mu\text{g L}^{-1}$) por estación y fecha de muestreo.

Muestreo	Estación	Prof (m)	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
Enero 2010	1	0	0,8±0,2	0,02±0,01	3,0±0,5	1,9±0,07	1,7±0,1	< LD
	1	20	0,9±0,6	< LD	3±1	6,0±0,7	0,3±0,01	0,07±0,01
	1	40	0,6±0,006	< LD	1,9±0,02	1,5±0,1	< LD	0,05±0,009
	2	0	1±0,5	< LD	2,9±0,4	3,4±0,2	< LD	0,05±0,01
	2	8	1,8±0,1	< LD	4,3±0,04	6,5±0,3	2,6±0,2	0,05±0,02
	2	16	< LD	0	1,8±0,05	3,1±0,06	< LD	0,07±0,02
	3	0	0,7±0,1	< LD	2,2±0,03	3,6±0,2	< LD	0,1±0,05
	3	9	0,28±0,01	0	2,2±0,08	5,6±0,07	< LD	0,07±0,04
	3	18	0,16±0,09	< LD	1,3±0,3	1,1±0,6	1,2±0,05	0,06±0,01
	4	0	3,9±0,4	< LD	3,5±1,1	1,3±0,2	1,8±0,08	0,08±0,009
	4	10	0,8±0,1	< LD	1,5±0,5	1,0±0,02	< LD	< LD
	4	20	0,9±0,1	< LD	2,8±0,3	1,0±0,01	0	0,1±0,03
	5	0	0,1±0,3	< LD	2,1±0,7	1,5±0,05	< LD	0,08±0,007
Marzo 2010	5	14	0,6±0,2	< LD	1,4±0,01	0,9±0,02	< LD	0,09±0,02
	5	28	0,5±0,3	< LD	2,0±0,4	1,9±0,1	0,15±0,01	0,2±0,08
	1	0	0,05±0,003	< LD	1,8±0,7	0,2±0,1	< LD	0,07±0,03
	1	20	0,6±0,003	< LD	1,2±0,6	1,1±0,05	< LD	0,2±0,1
	1	40	0,7±0,003	< LD	1,3±0,9	0,7±0,2	< LD	0,05±0,007
	2	0	0,1±0,003	< LD	1,8±0,2	0,1±0,04	< LD	0,07±0,04
	2	8	0,5±0,03	< LD	2,2±1,3	< LD	< LD	< LD
	2	17	0,8±0,003	< LD	1,3±0,4	4,5±0,6	< LD	< LD
	3	0	< LD	< LD	< LD	0,2±0,04	< LD	0,1±0,004
	3	9	0,07±0,003	< LD	1,2±0,3	0,8±0,4	< LD	0,09±0,04
	3	18	0,07±0,003	< LD	0,7±0,6	0	< LD	< LD
	4	0	0,6±0,003	< LD	1,1±0,003	0,4±0,01	< LD	0,07±0,009
	4	10	0,7±0,003	< LD	0,9±0,1	0	< LD	0,05±0,005
4	20	0,4±0,003	< LD	1,1±0,7	0,9±0,4	< LD	< LD	
5	0	0,3±0,003	< LD	< LD	1,2±0,01	0,8±0,03	0,1±0,04	
5	14	0,08±0,003	< LD	4,0±1,5	2,9±0,01	< LD	0,07±0,006	
5	27	0,3±0,003	< LD	0,9±0,4	0,4±0,01	0,9±0,03	< LD	
Mayo 2010	1	0	0,9±0,2	0,01±0,005	0,2±0,2	0,3±0,05	0,8±0,2	0,02±0,02
	1	20	0,3±0,04	< LD	0,6±0,2	0,6±0,3	< LD	0,14±0,05
	1	40	< LD	0,01±0,001	< LD	0,8±0,08	< LD	0,04±0,06
	2	0	< LD	0,01±0,001	0,2±0,02	0,1	< LD	0,02±0,02
	2	8	0,07±0,04	0,01±0,002	1,2±0,01	0,3±0,2	0	0,5±0,4
	2	16	0,5±0,003	0,01±0,001	1,1±0,3	0,8±0,2	0,6±0,01	< LD
	3	0	0,9±0,7	0,02±0,001	0,8±0,9	< LD	0,7±0,1	0,1±0,2
	3	9	0,06±0,04	0,02±0,004	0,3±0,2	< LD	< LD	0,04±0,05
	3	18	0,3±0,04	0,02±0,004	0,3±0,2	0,3±0,06	< LD	0,04±0,04
	4	0	0,1±0,03	0,01±0,001	< LD	0,1±0,08	< LD	< LD
	4	10	0,4±0,04	0,02±0,001	0,06±0,001	0,2±0,1	< LD	< LD
	4	20	< LD	< LD	0,2±0,5	0,4±0,3	< LD	< LD
	5	0	0,3±0,04	< LD	0,9±0,4	0,6±0,4	< LD	0,008±0,02
5	14	0,6±0,05	0	1,0±0,5	0,2±0,1	< LD	< LD	
5	28	0,06±0,02	0	0,9±0,05	0,2±0,1	< LD	< LD	

*Meses Enero- Mayo 2010 corresponden a los meses muestreados durante este T.E.G.

Tabla 2. (Continuación) Concentraciones de metales disueltos ($\mu\text{g L}^{-1}$) por estación y fecha de muestreo.

Muestreo	Estación	Prof (m)	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
Junio 2009	1	0	3,4 ± 0,3	0,3 ± 0,1	3,6 ± 0,1	< LD	6,5 ± 0,6	0,3 ± 0,003
	1	20	1,7 ± 0,9	0,1 ± 0,03	2,6 ± 0,6	< LD	0,8 ± 0,04	0,09 ± 0,007
	1	40	4,2 ± 0,4	0,5 ± 0,1	3,6 ± 0,2	< LD	2,3 ± 0,4	0,05 ± 0,002
	2	0	2,7 ± 0,7	0,2 ± 0,09	2,9 ± 0,5	< LD	< LD	0,08 ± 0,003
	2	8	4,7 ± 0,4	0,5 ± 0,05	5,3 ± 0,2	< LD	7,7 ± 0,4	0,05 ± 0,002
	2	16	3,3 ± 0,1	0,3 ± 0,2	3,0 ± 0,01	< LD	1,0 ± 0,2	0,09 ± 0,003
	3	0	3,12 ± 0,06	0,2 ± 0,03	3,4 ± 0,2	< LD	1,1 ± 0,06	0,2 ± 0,002
	3	9	2,5 ± 0,3	0,2 ± 0,02	3,3 ± 0,07	< LD	1,2 ± 0,02	0,05 ± 0,003
	3	18	2,8 ± 0,3	0,2 ± 0,01	3,3 ± 0,2	< LD	0,8 ± 0,07	0,07 ± 0,002
	4	0	2,5 ± 0,3	0,3 ± 0,05	3,0 ± 0,3	< LD	0,9 ± 0,3	0,02 ± 0,007
	4	10	3,1 ± 0,06	0,1 ± 0,02	2,4 ± 0,2	< LD	< LD	0,06 ± 0,004
	4	20	1,8 ± 0,2	0,2 ± 0,07	2,5 ± 0,2	< LD	< LD	0,08 ± 0,003
	5	0	3,9 ± 0,1	0,4 ± 0,07	3,4 ± 0,5	< LD	1,4 ± 0,1	0,05 ± 0,003
	5	14	2,1 ± 0,5	0,2 ± 0,04	2,8 ± 0,3	< LD	< LD	0,1 ± 0,005
	5	28	4,6 ± 0,1	0,6 ± 0,05	6,2 ± 0,2	< LD	5,4 ± 0,1	0,08 ± 0,003
Agosto 2009	1	0	2,6 ± 0,3	0,1 ± 0,03	2,2 ± 0,3	4,9 ± 0,01	0,8 ± 0,03	0,07 ± 0,003
	1	20	2,6 ± 0,2	< LD	1,6 ± 0,2	< LD	< LD	0,2 ± 0,005
	1	40	2,0 ± 0,3	< LD	1,6 ± 0,06	< LD	< LD	0,07 ± 0,005
	2	0	1,8 ± 0,05	0,03 ± 0,02	2,0 ± 0,2	4,8 ± 0,05	< LD	0,04 ± 0,003
	2	8	1,6 ± 0,2	0,05 ± 0,02	2,3 ± 0,2	< LD	< LD	0,1 ± 0,002
	2	16	1,5 ± 0,4	< LD	1,8 ± 0,2	0,2 ± 0,09	< LD	0,06 ± 0,003
	3	0	2,6 ± 0,3	0,1 ± 0,02	3,4 ± 0,2	0,2 ± 0,01	0,6 ± 0,004	0,05 ± 0,003
	3	9	3,7 ± 0,2	0,3 ± 0,01	4,0 ± 0,3	2,5 ± 0,08	0,7 ± 0,1	0,05 ± 0,002
	3	18	1,2 ± 0,8	< LD	2,1 ± 0,05	< LD	< LD	0,05 ± 0,0003
	4	0	0,9 ± 0,2	< LD	1,9 ± 0,05	< LD	< LD	0,05 ± 0,003
	4	10	< LD	< LD	1,8 ± 0,4	0,9 ± 0,08	< LD	0,1 ± 0,003
	4	20	2 ± 1	< LD	3,0 ± 0,3	< LD	< LD	0,06 ± 0,003
	5	0	1,5 ± 0,9	< LD	3,3 ± 0,2	< LD	< LD	0,07 ± 0,004
	5	14	< LD	< LD	< LD	< LD	1,5 ± 0,2	0,06 ± 0,002
	5	28	2,3 ± 0,5	< LD	3,7 ± 0,5	4,0 ± 0,1	1,1 ± 0,2	0,05 ± 0,002
Octubre 2009	1	0	1,0 ± 0,3	< LD	3,4 ± 0,1	0,9 ± 0,2	1,7 ± 0,07	0,025 ± 0,003
	1	20	1,2 ± 0,06	< LD	1,7 ± 0,5	0,5 ± 0,2	0,9 ± 0,05	0,03 ± 0,003
	1	40	< LD	< LD	2,4 ± 0,06	< LD	< LD	0,02 ± 0,002
	2	0	0,9 ± 0,3	< LD	1,7 ± 0,05	0,7 ± 0,1	< LD	0,04 ± 0,003
	2	8	< LD	< LD	0,6 ± 0,04	< LD	0	0,03 ± 0,002
	2	16	1,0 ± 0,2	< LD	1,0 ± 3,6	< LD	1,3 ± 0,2	0,04 ± 0,003
	3	0	0,8 ± 0,2	< LD	2,0 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,7 ± 0,1	0,03 ± 0,002
	3	9	1,1 ± 0,2	< LD	2,3 ± 0,01	0,6 ± 0,01	0,4 ± 0,1	0,06 ± 0,003
	3	18	0,6 ± 0,04	< LD	2,2 ± 0,6	0,5 ± 0,02	0,7 ± 0,01	0,045 ± 0,0025
	4	0	< LD	< LD	1,2 ± 0,05	0,09 ± 0,01	< LD	0,02 ± 0,002
	4	10	< LD	< LD	0,9 ± 0,02	0,2 ± 0,02	< LD	0,04 ± 0,003
	4	20	< LD	< LD	0,9 ± 0,1	< LD	< LD	0,02 ± 0,002
	5	0	< LD	< LD	1,9 ± 0,2	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,08	0,02 ± 0,002
	5	14	0,8 ± 0,3	< LD	2,4 ± 0,5	0,3 ± 0,02	0,9 ± 0,4	0,03 ± 0,003
	5	28	< LD	< LD	1,31 ± 0,30	0,28 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,023 ± 0,002

* Meses Junio - Octubre 2009 corresponden a los meses muestreados en el trabajo de Palma (2009) ¹¹¹

Apéndice 4. Análisis de correlaciones múltiples en las muestras de aguas, empleando el coeficiente de Spearman como estadístico.

	Muestreo	Estación	Prof	Temp	OD	Cond	pH	Alcalinidad	Dureza	Amonio	Fosfatos	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
Muestreo		0,9624	0,9613	0,8793	0,6851	0,0000	0,0006	0,0051	0,0000	0,0056	0,0241	0,0000	0,0010	0,0000	0,0001	0,0026	0,1697
Estación	0,9624		0,4527	0,1932	0,3930	0,9838	0,5836	0,4427	0,5637	0,2540	0,0000	0,2712	0,2503	0,5862	0,8926	0,9760	0,4358
Prof	0,9613	0,4527		0,0000	0,0000	0,0635	0,0000	0,0007	0,7006	0,0001	0,1330	0,5551	0,3422	0,3318	0,3694	0,4824	0,9501
Temp	0,8793	0,1932	0,0000		0,0000	0,9051	0,0000	0,0002	0,4887	0,0014	0,0024	0,6487	0,9784	0,4217	0,4660	0,6539	0,0065
OD	0,6851	0,3930	0,0000	0,0000		0,0797	0,0000	0,0002	0,9553	0,0000	0,0986	0,4563	0,3350	0,4816	0,7857	0,6146	0,8796
Cond	0,0000	0,9838	0,0635	0,9051	0,0797		0,0037	0,2651	0,0000	0,1063	0,0020	0,0037	0,0871	0,0010	0,0000	0,1665	0,4767
pH	0,0006	0,5836	0,0000	0,0000	0,0000	0,0037		0,1423	0,0427	0,4021	0,0802	0,0135	0,2103	0,0009	0,1088	0,0864	0,0869
Alcalinidad	0,0051	0,4427	0,0007	0,0002	0,0002	0,2651	0,1423		0,0058	0,0137	0,0371	0,0066	0,0028	0,0703	0,3875	0,0178	0,0298
Dureza	0,0000	0,5637	0,7006	0,4887	0,9553	0,0000	0,0427	0,0058		0,2352	0,0000	0,0007	0,1070	0,0001	0,0051	0,0011	0,2879
Amonio	0,0056	0,2540	0,0001	0,0014	0,0000	0,1063	0,4021	0,0137	0,2352		0,2464	0,0176	0,0134	0,0283	0,0116	0,1615	0,0155
Fosfatos	0,0241	0,0000	0,1330	0,0024	0,0986	0,0020	0,0802	0,0371	0,0000	0,2464		0,4582	0,1847	0,8509	0,0271	0,2391	0,1223
Pb	0,0000	0,2712	0,5551	0,6487	0,4563	0,0037	0,0135	0,0066	0,0007	0,0176	0,4582		0,0000	0,0000	0,0396	0,0001	0,0084
Cd	0,0010	0,2503	0,3422	0,9784	0,3350	0,0871	0,2103	0,0028	0,1070	0,0134	0,1847	0,0000		0,0156	0,0105	0,0004	0,7219
Ni	0,0000	0,5862	0,3318	0,4217	0,4816	0,0010	0,0009	0,0703	0,0001	0,0283	0,8509	0,0000	0,0156		0,2804	0,0001	0,0175
Cr	0,0001	0,8926	0,3694	0,4660	0,7857	0,0000	0,1088	0,3875	0,0116	0,0051	0,0271	0,0396	0,0105	0,2804		0,5488	0,7963
Cu	0,0026	0,9760	0,4824	0,6539	0,6146	0,1665	0,0864	0,0178	0,0011	0,1615	0,2391	0,0001	0,0004	0,0001	0,5488		0,5486
Hg	0,1697	0,4358	0,9501	0,0065	0,8796	0,4767	0,0869	0,0298	0,2879	0,0155	0,1223	0,0084	0,7219	0,0175	0,7963	0,5486	

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. El 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 5. Datos biométricos de los peces capturados y concentración de los metales.

Tabla 1. Concentraciones de metales (mg kg⁻¹) en muestras de músculo de peces.

Muestreo	Muestra	Peso (g)	Talla (cm)	Sexo	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
Enero 2010	1	295,9	24	M	0,05 ± 0,01	< LD	0,200 ± 0,007	0,20 ± 0,03	0,60 ± 0,03	0,020 ± 0,001
	2	388,4	27	H	< LD	< LD	0,08 ± 0,01	0,100 ± 0,003	0,50 ± 0,2	0,0100 ± 0,0008
	3	357,7	26	M	0,005 ± 0,0	< LD	0,100 ± 0,002	0,100 ± 0,009	0,50 ± 0,02	0,0009 ± 0,0002
	4	244,6	21	H	0,10 ± 0,08	0,03 ± 0,00	0,2 ± 0,1	0,20 ± 0,05	0,6 ± 0,4	0,002 ± 0,001
	5	293,5	24	M	0,20 ± 0,01	< LD	0,20 ± 0,03	0,20 ± 0,02	0,50 ± 0,02	0,020 ± 0,004
	6	285,2	22	M	0,10 ± 0,01	< LD	0,20 ± 0,02	0,200 ± 0,005	0,40 ± 0,03	0,0003 ± 0,0000
	7	330,9	25	M	0,2 ± 0,2	< LD	0,20 ± 0,09	0,1500 ± 0,0025	0,7 ± 0,3	0,0040 ± 0,0001
	8	387,3	27	H	0,10 ± 0,02	< LD	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,3000 ± 0,0008	< LD
Marzo 2010	9	354,4	25	M	0,20 ± 0,05	< LD	0,25 ± 0,01	0,200 ± 0,006	0,80 ± 0,06	< LD
	10	330	25	M	0,2 ± 0,2	< LD	0,09 ± 0,02	0,10 ± 0,03	0,04 ± 0,06	< LD
	11	278,3	24	M	0,15 ± 0,03	< LD	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,03	0,40 ± 0,04	< LD
	12	375,6	27	H	0,09 ± 0,03	< LD	0,20 ± 0,04	0,10 ± 0,03	0,30 ± 0,09	< LD
	13	272,7	23	M	0,2 ± 0,1	0,05 ± 0,00	0,10 ± 0,02	0,20 ± 0,08	0,40 ± 0,02	0,0003 ± 0,00008
Mayo 2010	14	274	22	M	0,10 ± 0,07	< LD	0,20 ± 0,05	0,10 ± 0,03	0,40 ± 0,06	< LD
	15	253,8	22	M	0,2 ± 0,1	< LD	0,20 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,40 ± 0,06	< LD
	16	242,8	22	M	0,1 ± 0	0,01 ± 0,00	0,07 ± 0,04	0,10 ± 0,03	0,5 ± 0,1	< LD
	17	248,1	21	H	< LD	< LD	0,10 ± 0,02	0,10 ± 0,01	0,40 ± 0,08	< LD
	18	229,5	20	M	0,03 ± 0,01	< LD	0,200 ± 0,015	0,1000 ± 0,0002	0,6 ± 0,4	< LD
	19	163,6	17	H	0,01 ± 0,00	< LD	0,07 ± 0,03	0,10 ± 0,04	0,600 ± 0,001	0,005 ± 0,001
Junio 2009	21	750	35,5	H	1,3 ± 0,2	0,03 ± 0,01	< LD	< LD	0,7 ± 0,4	0,3 ± 0,07
	22	550	32,1	H	1,3 ± 0,2	0,035 ± 0,007	< LD	0,3 ± 0,07	0,5 ± 0,02	0,4 ± 0,1
	23	550	30,6	H	1,4 ± 0,4	0,035	< LD	0,2 ± 0,02	0,5 ± 0,3	0,4 ± 0,1
	24	500	30	H	1,4 ± 0,1	0,05 ± 0,01	< LD	< LD	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,2
	25	750	36	H	1,2 ± 0,5	0,03 ± 0,01	< LD	0,2 ± 0,1	0,7 ± 0,3	0,1 ± 0,0
	26	600	33	H	1,2 ± 0,5	0,03 ± 0,01	0,2 ± 0,1	0,2 ± 0,03	0,5 ± 0,06	0,2 ± 0,09
	27	300	31	H	1,6 ± 0,3	0,01 ± 0,003	0,4 ± 0,2	0,2 ± 0,03	0,9 ± 0,1	0,4 ± 0,06
	28	475	35	H	1,2 ± 0,5	< LD	0,7 ± 0,1	0,1 ± 0,01	0,9 ± 0,2	0,3 ± 0,08
Octubre 2009	29	500	32,7	M	0,8 ± 0,1	0,03 ± 0,003	< LD	0,3 ± 0,05	0,6 ± 0,1	0,3 ± 0,1

* Meses Enero - Mayo 2010 corresponden a los meses muestreados en este T.E.G.

** Meses Junio - Octubre 2009 corresponden a los meses muestreados en Palma (2009) ^[11]

*** M: Macho, H: Hembra

**** Todas las especies muestreadas corresponde a Tilapias, a excepción de las muestras 28 y 29 las cuales corresponde a Guabinas.

Tabla 2. Concentraciones de metales (mg kg^{-1}) en las muestras de hígado de peces.

Muestreo	Muestra	Peso (g)	Talla (cm)	Sexo	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
Enero 2010	1	295,9	24	M	$0,1 \pm 0,0$	$0,02 \pm 0,00$	$0,4 \pm 0,0$	$0,5 \pm 0,0$	5 ± 0	< LD
	2	388,4	27	H	$0,20 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,05$	$0,30 \pm 0,03$	$0,10 \pm 0,01$	4 ± 1	< LD
	3	357,7	26	M	$0,2 \pm 0,1$	$0,070 \pm 0,009$	$0,4 \pm 0,1$	$0,15 \pm 0,02$	$6,7 \pm 0,1$	$0,0004 \pm 0,0002$
	5	293,5	24	M	$0,10 \pm 0,05$	$0,040 \pm 0,006$	$0,30 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,01$	$5,6 \pm 0,8$	< LD
	6	285,2	22	M	$0,07 \pm 0,01$	$0,020 \pm 0,007$	$0,400 \pm 0,007$	$0,20 \pm 0,03$	$4,6 \pm 0,2$	< LD
	7	330,9	25	M	$0,2 \pm 0,2$	$0,040 \pm 0,002$	$0,5 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,2$	$6,6 \pm 0,1$	< LD
	9	354,4	25	M	$0,4 \pm 0,0$	$0,02 \pm 0,00$	$0,9 \pm 0,0$	$0,3 \pm 0,0$	9 ± 0	$0,001 \pm 0,000$
	10	330	25	M	$0,3 \pm 0,0$	$0,05 \pm 0,00$	$0,3 \pm 0,0$	$0,1 \pm 0,0$	5 ± 0	$0,0008 \pm 0,0000$
Marzo 2010	11	278,3	24	M	$0,9 \pm 0,0$	$0,07 \pm 0,00$	1 ± 0	$0,2 \pm 0,0$	5 ± 0	< LD
	12	375,6	27	H	$0,30 \pm 0,05$	$0,070 \pm 0,003$	$0,40 \pm 0,06$	$0,2 \pm 0,1$	$4,70 \pm 0,15$	$0,0003 \pm 0,0002$
	13	272,7	23	M	$0,10 \pm 0,04$	$0,008 \pm 0,010$	$0,20 \pm 0,05$	$0,400 \pm 0,004$	$2,6 \pm 0,6$	< LD
	14	274	22	M	$0,3 \pm 0,0$	$0,02 \pm 0,00$	$0,5 \pm 0,0$	$0,3 \pm 0,0$	7 ± 0	< LD
	15	253,8	22	M	$0,4 \pm 0,0$	0 ± 0	$0,3 \pm 0,0$	$0,3 \pm 0,0$	$6,5 \pm 0,0$	< LD
Mayo 2010	17	248,1	21	H	$0,4 \pm 0,3$	$0,020 \pm 0,005$	$0,40 \pm 0,04$	$0,7 \pm 0,7$	6 ± 1	< LD
	19	163,6	17	H	$0,06 \pm 0,05$	$0,004 \pm 0,006$	$0,10 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,01$	$9,0 \pm 0,9$	$0,0010 \pm 0,00007$
Junio 2009	21	750	35,5	H	$1,7 \pm 0,2$	$0,15 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,3$	$0,2 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,4$	$0,3 \pm 0,04$
	22	550	32,1	H	$1,3 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,007$	$0,6 \pm 0,2$	$0,2 \pm 0,03$	$5,6 \pm 0,02$	$0,7 \pm 0,02$
	23	550	30,6	H	$2,7 \pm 0,05$	$0,3 \pm 0,007$	$0,8 \pm 0,2$	$0,3 \pm 0,02$	$9,4 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,5$
	24	500	30	H	$2,4 \pm 0,1$	$0,1 \pm 0,01$	$0,5 \pm 0,4$	< LD	$6,6 \pm 0,1$	$0,3 \pm 0,08$
	25	750	36	H	$3,1 \pm 0,5$	$0,2 \pm 0,01$	< LD	$0,2 \pm 0,1$	$7,5 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,4$
	26	600	33	H	$1,6 \pm 0,3$	$0,2 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,03$	$6,7 \pm 0,06$	$0,42 \pm 0,002$
	27	300	31	H	$1,0 \pm 0,1$	$0,09 \pm 0,008$	$0,9 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,04$	$30,4 \pm 0,9$	$0,2 \pm 0,03$
	28	475	35	H	$0,7 \pm 0,06$	$0,05 \pm 0,007$	$0,5 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,02$	$25,0 \pm 0,3$	$0,1 \pm 0,01$
Octubre 2009	29	500	32,7	M	$1,1 \pm 0,1$	$0,2 \pm 0,003$	< LD	$1,6 \pm 0,05$	$5,4 \pm 0,1$	$4,5 \pm 0,4$

* Meses Enero - Mayo 2010 corresponden a los meses muestreados en este T.E.G.

** Meses Junio - Octubre 2009 corresponden a los meses muestreados en Palma (2009) ^[11]

*** M: Macho, H: Hembra

**** Todas las especies muestreadas corresponde a Tilapias, a excepción de las muestras 28 y 29 las cuales corresponde a Guabinas.

Apéndice 6. Factor de Bioconcentración.

$$\text{FBC} = \frac{\text{Concentración del metal peso seco} * ((100 - \% \text{ humedad}) / 100) * 1000}{\text{Concentración del metal en el agua}}$$

Concentración del metal en el agua

Concentración en peso húmedo									
Muestreo	Muestra	Peso (g)	% de Humedad	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg
1	1	295,9	79	0,01	0	0,04	0,04	0,1	0,004
1	2	388,4	75,8	0	0	0,02	0,02	0,1	0,002
1	3	357,7	80,6	0,001	0	0,02	0,02	0,1	0,0002
1	4	244,6	79,4	0,02	0,006	0,041	0,04	0,1	0,0004
1	5	293,5	81,4	0,04	0	0,04	0,04	0,09	0,004
1	6	285,2	80,7	0,02	0	0,04	0,04	0,08	0,00006
1	7	330,9	80,7	0,04	0	0,04	0,03	0,1	0,0008
1	8	387,3	80,4	0,02	0	0,02	0,02	0,06	0
3	9	354,4	78,6	0,04	0	0,05	0,04	0,2	0
3	10	330	79,1	0,04	0	0,02	0,02	0,008	0
3	11	278,3	78,7	0,03	0	0,02	0,02	0,08	0
3	12	375,6	79,6	0,02	0	0,04	0,02	0,06	0
3	13	272,7	78,9	0,04	0,01	0,02	0,04	0,08	0,00006
5	14	274	78,4	0,02	0	0,04	0,02	0,09	0
5	15	253,8	78,4	0,04	0	0,04	0,02	0,09	0
5	16	242,8	79,9	0,02	0,002	0,014	0,02	0,1	0
5	17	248,1	78,8	0	0	0,02	0,02	0,08	0
5	18	229,5	78,6	0,006	0	0,04	0,02	0,1	0
5	19	163,6	78,9	0,002	0	0,01	0,02	0,1	0,001

Apéndice 7. Análisis de correlaciones múltiples en las muestras de peces, empleando el coeficiente de Spearman como estadístico.

Tabla 1. Análisis de correlaciones múltiples en las muestras de músculo de peces del Lago de Valencia.

	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg	Peso	Talla	Sexo
Pb		0,0003	0,0232	0,0126	0,2828	0,0038	0,0036	0,0030	0,3172
Cd	0,0003		0,2628	0,0097	0,5164	0,0010	0,0079	0,0058	0,0422
Ni	0,0232	0,2628		0,0026	0,3293	0,2646	0,1554	0,2434	0,6901
Cr	0,0126	0,0097	0,0026		0,1443	0,0084	0,1158	0,1370	0,8063
Cu	0,2828	0,5164	0,3293	0,1443		0,0189	0,0655	0,0903	0,5915
Hg	0,0038	0,0010	0,2646	0,0084	0,0189		0,0014	0,0022	0,0269
Peso	0,0036	0,0079	0,1554	0,1158	0,0655	0,0014		0,0000	0,0270
Talla	0,0030	0,0058	0,2434	0,1370	0,0903	0,0022	0,0000		0,0402
Sexo	0,3172	0,0422	0,6901	0,8063	0,5915	0,0269	0,0270	0,0402	

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. El 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.

Tabla 2. Análisis de correlaciones múltiples en las muestras de hígado de peces del Lago de Valencia.

	Pb	Cd	Ni	Cr	Cu	Hg	Peso	Talla	Sexo
Pb		0,0007	0,0027	0,9957	0,1042	0,0018	0,0017	0,0012	0,0288
Cd	0,5695		0,0129	0,1852	0,0007	0,0008	0,0000	0,0000	0,0333
Ni	0,0027	0,0129		0,5250	0,1565	0,0559	0,0206	0,0297	0,6153
Cr	0,9957	0,1852	0,5250		0,7749	0,5777	0,1681	0,2035	0,1985
Cu	0,1042	0,5695	0,1565	0,7749		0,0489	0,5175	0,6583	0,3551
Hg	0,0018	0,0008	0,0559	0,5777	0,0489		0,0007	0,0006	0,0243
Peso	0,0017	0,0000	0,0206	0,1681	0,5175	0,0007		0,0000	0,0270
Talla	0,0012	0,0000	0,0297	0,2035	0,6583	0,0006	0,0000		0,0402
Sexo	0,0288	0,0333	0,6153	0,1985	0,3551	0,0243	0,0270	0,0402	

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. El 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.

Tabla 3. Análisis de varianzas (ANOVA de una vía) para las muestras de tejidos de peces con el género.

	Elemento	df	f-ratio	p-valor
Hígado	Cd	1/20	6,98	0,02
	Cr	1/20	1,06	0,315
	Cu	1/20	1,09	0,31
	Hg	1/20	0,00	0,96
	Ni	1/20	0,02	0,9
	Pb	1/20	9,34	0,006
Músculo	Cd	1/20	3,95	0,06
	Cr	1/20	0,93	0,35
	Cu	1/20	0,23	0,64
	Hg	1/20	0,08	0,78
	Ni	1/20	0,06	0,81
	Pb	1/20	0,29	0,6

*df (entre grupos / dentro del grupo)

