

118
2 ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

“DETERMINACION DE METALES PESADOS EN
TEJIDOS DE CARPA (*Cyprinus carpio*) DE LA
LAGUNA DE ZUMPANGO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
MEDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A :

JUAN CARLOS VALADEZ PEREZ



ASESORES: M.C. ARCELIA RITA DEL CASTILLO RODRIGUEZ
Q.M. CECILIA GENZALEZ IBARRA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO DE MEX.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

260709



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLAN
P R E S E N T E

AT'N: Q. Maria del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S.-CUAUTITLAN

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el:

Trabajo de Tesis "Determinación de metales pesados en tejidos de carpa (Cyprinus carpio) de Laguna de Zumpango.

que presenta el pasante: Juan Carlos Valadez Pérez
con número de cuenta: 8407255-3 para obtener el TITULO de:
Médico Veterinario Zootecnista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de México, a 4 de marzo de 1998

PRESIDENTE	<u>MVZ. Mc. Rita del Castillo Rodriguez</u>
VOCAL	<u>MVZ. Juan Ramirez Flores</u>
SECRETARIO	<u>MVZ. MC. Guillermo Valdivia Anda</u>
PRIMER SUPLENTE	<u>MVZ. Victor Quintero Ramirez</u>
SEGUNDO SUPLENTE	<u>MVZ. Francisco Morales Alvarez</u>

A mis padres:

Ignacio Valadez González y Virginia Pérez Díaz

No existen palabras para explicar el amor y agradecimiento que siento por los seres que me brindaron la oportunidad de vivir y conocer la belleza de este mundo. A ustedes les debo el saber reconocer el amor, la honestidad, la perseverancia y el respeto. Su ejemplo me confirma que la mejor cosecha no sólo viene después de la gran jornada de trabajo, sino que está presente a través de ella.

A mis hermanos y hermanas:

Luis, Roberto, Jorge, Javier, Fernando, Patricia y Claudia

Por lo grato que ha resultado compartir este mundo con ustedes, sintiendo su cariño, confianza y comprensión incondicional.

A toda mi familia:

Por todo el apoyo que me han dado.

*Mi agradecimiento a mis asesores
por brindarme sus conocimientos,
su tiempo, y sobre todo su amistad.*

*A todo el personal de la sección de
Análisis Clínicos y Patología, del laboratorio
de Química Analítica, y del Centro de idiomas.
El trabajar con ustedes me ha permitido conocer
la importancia de la ética y el profesionalismo.*

*Al Ing. Juan Rafael Garibay Bermudez
por su valiosa cooperación en el análisis
estadístico.*

*A todos aquellos que de alguna manera
contribuyeron en la realización de este
trabajo.*

Con todo mi afecto para Nacho, Lucia, Gabby, Memo, Lucy, Lupita, Mary, Graciela y Lolita. Su esfuerzo, dedicación y amistad han sido el mejor estímulo para colaborar con ustedes.

*A la memoria de Alvaro:
Se que de seguir aquí, habrías concluido tus metas. Amigo, se que las concluirás donde quiera que estés.*

Para todas las personas que he encontrado en mi camino, aquellas que me han demostrado que la amistad y el amor no es una utopía.

A todos, Gracias.

Juan Carlos Valadez Pérez

RESUMEN

JUAN CARLOS VALADEZ PÉREZ: "Determinación de Metales Pesados en Tejidos de Carpa (*Cyprinus carpio*) de la Laguna de Zumpango".

La intoxicación por metales pesados es una de las patologías más importantes dentro del campo de la toxicología. Los metales pesados presentes en el medio ambiente debido al desarrollo industrial y aumento de población humana pueden estar en concentraciones que ponen en riesgo la salud del hombre, animales y medio ambiente en general.

En la actualidad es importante contar con la ayuda de profesionistas e instituciones para el estudio y monitoreo de los tóxicos y de sus consecuencias, por lo que el propósito de este trabajo fue colaborar implementando, en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, las técnicas necesarias para el diagnóstico en el laboratorio de la presencia de metales pesados en tejidos, realizando los análisis y determinaciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en carpas de la Laguna de Zumpango, contribuyendo de igual modo a valorar el grado de contaminación del campo de estudio en cuestión. Las determinaciones se hicieron en músculo, hígado y riñón de 30 carpas. Todas las muestras fueron digeridas en horno de microondas, para después ser analizadas por espectrofotometría de absorción atómica por flama, horno de grafito, generador de hidruros y vapor frío.

Las concentraciones encontradas de arsénico fueron de 7.06 ppb en músculo, 27.43 ppb en hígado y 44.51 ppb para riñón. Los niveles de cadmio fueron de 47.08 ppb en músculo, 41.43 ppb en hígado y 104.50 ppb en riñón. El cobre fue ubicado en 591.19 ppb en músculo, 149.94 ppb en hígado y 907.17 ppb en el caso de riñón. Las concentraciones de mercurio mostraron 84.938 ppb en músculo, 84.14 ppb en hígado y 12.36 ppb en riñón. El plomo fue encontrado en un nivel de 260 ppb en músculo, y no se detectó en los otros tejidos. El zinc se encontró en 8.67 ppm en músculo, 829.21 ppm en hígado y 396.73 ppm en riñón. En el caso de cromo no se registraron niveles detectables por el equipo, siendo para este caso un límite de detección de 2 ppm. Los niveles de cadmio, arsénico y plomo encontrados, sugieren tomar precauciones en el consumo de carne de carpa debido a que sus concentraciones no son recomendadas para el humano.

CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	4
METALES PESADOS.....	7
ARSÉNICO	8
<i>Fuentes</i>	8
<i>Toxicocinética</i>	9
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	9
<i>Signología</i>	10
<i>Diagnóstico</i>	11
CADMIO	11
<i>Fuentes</i>	11
<i>Toxicocinética</i>	12
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	12
<i>Signología</i>	13
<i>Diagnóstico</i>	13
COBRE	13
<i>Fuentes</i>	13
<i>Toxicocinética</i>	13
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	14
<i>Signología</i>	15
<i>Diagnóstico</i>	16
CROMO	16
<i>Fuentes</i>	16
<i>Toxicocinética</i>	16
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	17
<i>Signología</i>	18
<i>Diagnóstico</i>	18
MERCURIO	18
<i>Fuentes</i>	18
<i>Toxicocinética</i>	19
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	20
<i>Signología</i>	21
<i>Diagnóstico</i>	22
PLOMO	23
<i>Fuentes</i>	23
<i>Toxicocinética</i>	23
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	25
<i>Signología</i>	26
<i>Diagnóstico</i>	28
ZINC	28
<i>Fuentes</i>	28

<i>Toxicocinética</i>	28
<i>Fisiopatología y Toxicidad</i>	29
<i>Signología</i>	29
<i>Diagnóstico</i>	30
RELEVANCIA DE LOS METALES PESADOS EN LA ACUACULTURA Y SU RELACIÓN CON LA LAGUNA DE ZUMPANGO	31
ANTECEDENTES	35
OBJETIVOS DE LA TESIS	37
MATERIAL Y MÉTODOS	38
UBICACIÓN GEOGRÁFICA	38
MATERIAL BIOLÓGICO.....	38
DIGESTIÓN DE LA MUESTRA.....	40
DIGESTIÓN EN HORNO DE MICROONDAS.....	42
ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	43
TÉCNICA POR FLAMA	43
TÉCNICA POR HORNO DE GRAFITO	45
TÉCNICA POR GENERACIÓN DE HIDRUROS Y VAPOR FRÍO.....	46
RESULTADOS	48
VALORES OBTENIDOS.....	48
<i>Arsénico</i>	49
<i>Cadmio</i>	50
<i>Cromo</i>	50
<i>Cobre</i>	51
<i>Plomo</i>	52
<i>Mercurio</i>	53
<i>Zinc</i>	54
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	57
DISCUSIÓN	60
<i>Arsénico</i>	60
<i>Cadmio</i>	61
<i>Cromo</i>	61
<i>Cobre</i>	61
<i>Plomo</i>	62
<i>Mercurio</i>	63
<i>Zinc</i>	63
CONCLUSIONES	67
LITERATURA CITADA	69

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM al ser una unidad multidisciplinaria, cuenta con distintas áreas dedicadas a la docencia y a la investigación. Éstas brindan servicios a la comunidad y al investigador en diferentes áreas, incluyendo medicina veterinaria. En el campo de la medicina veterinaria como en tantos otros, es de gran utilidad el apoyo del servicio de diagnóstico que ofrecen los laboratorios. En la actualidad las necesidades de diagnóstico se dirigen en gran medida al área de toxicología. El interés en esta área se ha incrementado debido a que se requiere identificar la presencia de diversos tóxicos que producen efectos negativos en humanos, animales y medio ambiente.

Dentro del campo de la toxicología, la intoxicación por metales pesados representa un problema relevante, cada uno de estos elementos cobra especial énfasis dependiendo del área geográfica de la que se habla, la especie a tratar, época del año, las actividades del lugar: prácticas agrícolas, industriales y farmacéuticas, y el rigor legislativo vigente ¹⁰.

En las últimas décadas se ha puesto de manifiesto la importancia de los metales pesados debido a sus efectos tóxicos, aún en aquellos casos en los que son considerados esenciales, ya que a dosis altas llegan también a ser tóxicos. La mayoría de los metales pesados biológicamente activos o potencialmente tóxicos, pertenecen a elementos de transición de la tabla periódica, por lo tanto, éstos son altamente reactivos y se acumulan fácilmente en minerales y organismos del medio acuático ⁵. En este trabajo se realizó la determinación de los metales considerados relativamente frecuentes como contaminantes, y aquellos que cobran importancia por su toxicidad. La asociación de oficialías para el control de la alimentación americana (AAFCO) clasifica al cadmio y el mercurio como metales altamente tóxicos; como tóxicos al cobre y el plomo; como moderadamente tóxico al arsénico; y ligeramente tóxicos al zinc y el cromo ². Es difícil definir los niveles máximos de

seguridad de cada metal, en tanto que se necesita bastante información, como la dosis y tiempo de exposición, presentación química del elemento, especie animal, edad y estado fisiológico. La importancia por especie radica en la susceptibilidad y tolerancia de cada una de ellas, la biodisponibilidad del elemento en el hábitat propio de la especie y el tiempo de exposición. El sentido de la importancia puede ser por interés clínico, campo productivo, salud pública o de investigación^{10, 33}. En el caso de la fauna acuática se agregan factores como pH, acidez o alcalinidad del agua, temperatura, contenido de oxígeno disuelto, presencia de otros metales. En relación a la presentación química del elemento se menciona que de esto depende la capacidad de ser absorbido por los seres vivos, lo que se conoce como biodisponibilidad. Siguiendo la biodisponibilidad del elemento se maneja también la capacidad de fijación en los tejidos y su acumulación, a lo que se da el término de bioacumulación. Por todas estas razones es importante aclarar que bajo ningún concepto deben admitirse los niveles conocidos de la concentración letal media (LC₅₀) o el límite de tolerancia medio (TL₅₀) de cada uno de los tóxicos como niveles de seguridad, y que los resultados de este tipo de estudios pueden contribuir a el establecimiento de los mismos^{40, 57}.

Las consecuencias producidas por intoxicación por metales pesados son variadas dependiendo si se produce intoxicación aguda, subaguda o crónica. Los resultados de estos padecimientos incluyen pérdidas económicas en el ganado, aves y peces; ya sea por muerte, enfermedad o por decomiso. En especies de indole no productiva se observan cuadros patológicos distintos donde se merma fuertemente la salud del individuo llegando incluso a provocar la muerte o en otros casos desordenes en el crecimiento y efectos carcinogénicos, afecciones discutidas en la actualidad^{43, 66}.

En el sentido productivo se ve a la piscicultura como una actividad de importancia relativa en México, debido a la demanda de proteína de buena calidad a bajo precio, la cual puede obtenerse del pescado. Es de considerarse que cualquier cuerpo de agua permanente, semipermanente o estacional, representa en la actualidad, un potencial para producir alimentos. México cuenta con un alto

porcentaje de pequeños cuerpos de agua que van de 0.25 a 10 hectáreas, los cuales pueden ser dedicados a la cría de especies piscícolas de agua dulce⁵¹. En las regiones donde la presencia de dichos cuerpos de agua les permite la explotación piscícola, la presencia de contaminantes como los metales pesados es una limitante para la obtención de alimento de una calidad sanitaria adecuada. La acumulación de estos metales es una de las problemáticas del campo de la salud que desafortunadamente no es fácilmente distinguible debido a las características de los efectos patológicos producidos. Es por esto que la detección de dichos elementos tóxicos en la producción pesquera es imperiosa, con necesidades de precisión y rapidez en el diagnóstico²⁷.

Observando lo anterior, se presenta la necesidad de contar con equipo y personal calificado para la detección de metales pesados. La participación de este personal no debe ser limitada sólo al área de laboratorio, ya que la interacción con otros médicos y profesionales involucrados en el área podrían facilitar la detección de los contaminantes, valorar el impacto en las especies involucradas y en el medio ambiente, para que de alguna forma se implemente el tratamiento o la solución del padecimiento. Parte de la solución, como se ha mencionado, se inicia desde el establecimiento del diagnóstico, por lo que con este trabajo se intenta que el profesional obtenga apoyo técnico para facilitar dicho diagnóstico, aprovechando los medios existentes en la facultad, y de alguna forma contribuir en estudios de esta índole con las experiencias obtenidas propias del lugar de estudio.

Con base en lo anterior se puede suponer que no existen indicios que propongan la contaminación de los peces, los valores reportados encontrados en el agua de la laguna indican estar dentro de los límites recomendados, estando el plomo en el margen del límite. Sin embargo se debe considerar que el estudio al sólo valorar el agua excluye otros factores que no pueden ser medidos en el agua. Estos factores comprenden el comportamiento mismo de un ser vivo, el cual puede estar expuesto a condiciones fisicoquímicas diferentes a lo largo de su vida, y por tanto, observarse un comportamiento diferente en la acumulación de metales pesados con respecto a las determinaciones realizadas en el agua.

METALES PESADOS

Como se ha mencionado anteriormente la determinación de metales pesados no es una labor fácil debido a la dificultad para la detección de signos y síntomas. La ambigüedad de la signología hace que el diagnóstico clínico tenga que ser sustentado por el laboratorio. El laboratorio a su vez requiere de la mayor información posible del caso, la información requerida va desde identificar la probable fuente del tóxico, para de esa manera contemplar el panel de pruebas a realizar en las muestras remitidas por el interesado. Para facilitar todo el proceso que involucra la obtención de un diagnóstico definitivo, tanto el profesionalista del laboratorio como los del caso en cuestión deben contemplar conocimientos elementales para determinar una probable intoxicación, deben mantenerse en contacto a lo largo del estudio del caso para que con los resultados del laboratorio se de la posibilidad de tener una retroalimentación de conocimientos y de esa manera facilitar el diagnóstico de futuros casos sospechosos de intoxicación.

Con esta finalidad se incluyen diferentes aspectos que pueden auxiliar a los interesados en el diagnóstico de intoxicación por metales pesados, considerando la gran diversidad de situaciones particulares que pueden presentarse. Se asume de esta manera que la siguiente información no es una guía completa para el diagnóstico de intoxicación por metales pesados, pero de alguna manera puede auxiliar para su determinación.

ARSÉNICO

Fuentes

La intoxicación por arsénico se conoce desde tiempos remotos, podría considerarse realmente clásica por su frecuencia en medicina humana. Desde la antigüedad distintas sales de éste se han usado como medicamentos para el tratamiento de úlceras cutáneas, y diversos usos, como insecticidas, antihelmínticos, mulosquicidas, y en otras áreas de análisis bioquímico clínicos ^{10, 52}.

Este elemento se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y está presente en muchos procesos, con el crecimiento de las actividades industriales las fuentes de contaminación han aumentado al igual que otros metales ^{17, 29}.

La presentación de arsénico en la naturaleza es variable, la mayoría de los metales contienen una pequeña cantidad de este metal. Las fuentes naturales más importantes son el mispíquel o pirita arsenical de hierro (FeS_2 - FeAs_2), los sulfuros rejalgárico (As_2S_2) y oropimente (As_2S_3). Las fuentes directas se relacionan con la extracción mineral, colorantes, insecticidas, antihelmínticos y mulosquicidas. En la agricultura las actividades con mayor riesgo de exposición al arsénico son: aplicación de defoliantes, plaguicidas, preservadores de madera y como desinfectantes para cabras y ovejas. Otras presentaciones del arsénico como lo son los arsenitos de sodio y potasio (Na_3AsO_3 y K_3AsO_3) y los tioarsenitos (Na_3AsS_3 y K_3AsS_3) se han utilizado como herbicidas, insecticidas y conservadores de madera ^{17, 29}.

El arsénico está presente en el suelo en una concentración promedio de 2 mg/kg. En situaciones donde hay contaminación se han identificado concentraciones de hasta 40 mg/kg ^{17, 29}.

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

El arsénico y sus compuestos se introducen al organismo principalmente por inhalación, con una proporción del 50% de absorción de lo inhalado por ingestión, en donde el sistema gastrointestinal absorbe un promedio del 80% del arsénico, y a través de la piel ^{17, 52}.

Los compuestos de arsénico poco solubles, como el trióxido, se absorben lentamente, mientras que los solubles, como el arsénico sódico, se absorben rápidamente y por lo tanto son muy tóxicos. Los compuestos solubles se absorben a través de piel intacta, siendo la absorción muy rápida en heridas recientes.

El arsénico, una vez absorbido, se distribuye a través de la sangre por todo el cuerpo. El arsénico tiende a acumularse en el hígado, pasando posteriormente a otros tejidos. El nivel de arsénico tanto en la sangre como en el hígado y los riñones baja rápidamente. El arsénico ingerido sufre baja eliminación. Seguida a una exposición crónica, el arsénico tiende a almacenarse en los huesos, piel y tejidos queratinizados, pasando al pelo del animal posteriormente ^{17, 29}.

El arsénico se excreta en orina, heces, sudor, leche e incluso vómito; el tiempo de excreción depende del tiempo de exposición y del grado de intoxicación ²⁹.

Bioacumulación

El arsénico en general no se presenta en altas concentraciones en los tejidos de los organismos vivos, aunque puede contaminar las cadenas alimentarias ¹⁷.

Fisiopatología y Toxicidad

La solubilidad de los compuestos de arsénico tiene una gran relación con la toxicidad oral. En la mayoría de las especies parece ser que la dosis oral letal del arsénico sódico es de 1-25 mg/kg, como representante de compuesto soluble,

mientras que la del trióxido de arsénico, poco soluble, es de unas 10 veces menos tóxica ^{28, 52}.

El arsénico se considera que ejerce sus efectos tóxicos al reaccionar con los grupos tioles (SH) en las células, provocando una verdadera lesión bioquímica al bloquear los sistemas enzimáticos sulfhidrilos, esenciales para el metabolismo celular.

El arsénico tiene acción citotóxica, edematizante y necrosante, posee una acción paralizante sobre los capilares, originando su dilatación y lesión; con ello, da origen a hemorragias y edema de la mucosa gastrointestinal ¹¹.

La exposición conjunta del arsénico y el plomo presenta efectos aditivos en los tejidos respiratorios y en el sistema nervioso central ¹⁷.

Signología

La aparición súbita de signos violentos de cólico, sed, tensión abdominal y purgación y, quizás vómito, puede sugerir su intoxicación ²⁹.

En la intoxicación sobreaguda por arsénico, los animales pueden morir rápidamente, sin signología. Cuando se llegan a presentar signos, se puede llegar a observar intenso dolor abdominal, marcha vacilante, colapso, parálisis y muerte. En casos agudos, los signos más destacados son: salivación, sed, vómito, cólico violento, diarrea acuosa, a veces hemorrágica, postración, colapso y muerte. En casos subagudos los animales pueden presentar además depresión, anorexia, marcha vacilante, paraplejía, temblores, estupor, convulsiones, frialdad de las extremidades e hipotermia. Pueden presentarse también proteinuria y hematuria. La intoxicación crónica está asociada con indigestión, sed agotamiento y mal aspecto general, con el pelo manifiestamente seco, color rojo ladrillo de las mucosas visibles y pulso débil e irregular ²⁹.

La lesión característica de la intoxicación arsenical es intensa inflamación, rojo-rosada, del tubo digestivo, especialmente del estómago, con equimosis y

extravasación de sangre. Las mucosas aparecen inflamadas y se desprenden fácilmente. El hígado, riñones y corazón pueden presentar equimosis y pequeñas hemorragias²⁹.

Diagnóstico

Los métodos de análisis cobran importancia al tratarse de un elemento altamente volátil. Las determinaciones realizadas mediante incineración y digestión húmeda son un factor a considerar ya que existen pérdidas por volatilización, factor que queda prácticamente eliminado bajo la técnica de digestión en horno de microondas.

La digestión en horno de microondas impide la pérdida de este elemento, ya que los vapores son mantenidos bajo temperatura y presión regulada, valorando el contenido real de éste en la muestra.

El diagnóstico se puede realizar en orina, heces y pelo. En la intoxicación mortal, se pueden realizar estudios en hígado y riñón^{2, 6, 9, 10, 29}.

CADMIO

Fuentes

La capacidad del cadmio para producir enfermedad y en particular del sistema óseo ha sido bien conocida por décadas al relacionarse con la enfermedad crónica conocida como "Itai-Itai" en Japón⁴⁴.

Aunque casi no se han reportado intoxicaciones por cadmio, éste es uno de los metales más tóxicos, se encuentra en la naturaleza en concentraciones bajas, asociado con metales como el plomo, cobre, y zinc.

Entre las principales fuentes se pueden mencionar a la contaminación industrial; fundidoras, galvanizado, pigmentos, fábricas de baterías, cables eléctricos, celdas fotoeléctricas, fertilizantes, preparación de alimentos y el área de plaguicidas. El cadmio está presente en las industrias de fusibles, joyería, laminados, soldadura y colorantes, además de formar parte de los subproductos de la extracción del zinc. El óxido de cadmio se ha utilizado como antihelmíntico para cerdos, y como fungicidas. El cadmio se acumula también en animales alimentados con peces contaminados^{28, 42, 48, 52}.

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

El cadmio se absorbe rápidamente por intestino y se distribuye en los tejidos, alcanzando los niveles más altos en hígado, riñón y bazo. El 82% del cadmio ingerido por los bóvidos, se excreta en heces. Se ha reportado el contenido de cadmio en el pelo de ganado vacuno en áreas de pastoreo cercanas a fábricas que vierten metales pesados al ambiente^{18, 29}.

Fisiopatología y Toxicidad

El cadmio es uno de los metales más tóxicos, sin embargo su intoxicación es poco frecuente en condiciones ordinarias. La contaminación con pescado contaminado con cadmio puede ser elevada en ocasiones. El cadmio se acumula en gran cantidad en animales alimentados con peces o sus harinas. El peligro obedece sobre todo a que este metal actúa sinérgicamente con muchas contaminaciones. Las combinaciones de este metal van frecuentemente acompañadas por zinc, plomo-zinc y zinc-cobre-plomo. Estas combinaciones aumentan el grado de toxicidad del cadmio. El cadmio provoca lesiones en riñones, atrofia testicular, aumento de la tensión sanguínea, fomenta la caries y reducción del volumen de eritrocitos^{18, 29, 48}.

Signología

Se pueden observar signos generales como baja de producción, pérdida de peso, inapetencia, debilidad, disminución de la libido, mala queratinización de faneras, palidez de mucosas, pelo áspero, queratinización y descamación de la epidermis y anemia hemolítica ^{29, 43}.

Diagnóstico

Los niveles más altos para su determinación se han localizado en hígado, riñón y pulmón, y siendo bioacumulativo, se observa su incremento con la edad ²⁹.

COBRE

Fuentes

Las sales de cobre se han usado ampliamente en la agricultura y en la práctica veterinaria. La más conocida es el sulfato de cobre, empleado como fungicida y mulosquicida. El cobre se añade también a la dieta de los cerdos como promotor del crecimiento. Otras sales de cobre como subacetato, oxiclورو, cloruro y óxido, son empleadas también con relativa frecuencia. El sulfato de cobre se usa también como emético y antiparasitario ^{19, 29}.

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

Generalmente menos del 30 % del cobre consumido es absorbido en cualquiera de las especies, y su absorción y retención es afectada por la forma química ingerida. Se sabe que el mecanismo por el cual el cobre es absorbido es mediante la unión de éste a una proteína, formando un complejo orgánico.

El cobre se absorbe fácilmente en aparato digestivo, por un mecanismo no bien conocido, posiblemente por la unión de cobre-proteína. Al entrar el cobre al torrente sanguíneo procedente de tracto digestivo y de otros tejidos, inicia su separación de la seroalbúmina, es distribuido en los eritrocitos y en los tejidos. Cuando el cobre llega al hígado, éste es incorporado a las mitocondrias, a los microsomas, al núcleo y a la fracción soluble de las células del parénquima. El cobre puede ser almacenado o liberado en eritrocupreína, ceruloplasmina o en diversas enzimas que contienen cobre. Tiene la característica de acumularse en hígado hasta cierto nivel, dependiendo esta acumulación del nivel de molibdeno en la dieta. El cobre hepático también es secretado en la bilis hacia heces, y parte del cobre circulante en plasma es liberado en orina ^{19, 46, 64, 67}.

Fisiopatología y Toxicidad

El cobre es un elemento traza esencial para procesos enzimáticos del organismo; sin embargo, un incremento en la ingestión de este elemento puede causar una serie de patologías.

La dosis tóxica del cobre es muy variable entre especies e incluso individuos. Los ovinos suelen ser más sensibles al exceso de cobre que los bovinos; los peces son sensibles al cobre posiblemente debido a que sus branquias no parecen ser una barrera efectiva contra la absorción.

El cobre se encuentra de manera normal en los órganos internos, pero cuando se superan niveles de 1 a 3 ppm en músculo de peces se pueden observar trastornos de intoxicación.

Las sales de cobre son ya mortales para las carpas dentro del primer año de vida a partir de 1 ppm (en agua). Entre estas sales se mencionan a el sulfato y cloruro de cobre.

Se ha señalado como dosis tóxica de CuSO_4 por vía oral para los bovinos 200 mg/kg y para los ovinos 20 mg/kg ^{19, 46, 69}.

El cobre metálico no se considera un tóxico *per se*, aunque su toxicidad está ligada a su grado de ionización. El ion cobre forma parte de numerosas moléculas orgánicas, principalmente enzimas como la tirosinasa, uricasa, ascórbico-oxidasa, citocromooxidasa, etc., y al encontrarse en exceso perturba las cadenas enzimáticas.

La intoxicación aguda por cobre primariamente manifiesta necrosis de la mucosa gastrointestinal. Su intoxicación crónica genera una crisis hemolítica, asociada a una reducción de glutatión y acumulación de metahemoglobina. La acumulación por encima del umbral de su capacidad eleva súbitamente su presencia en sangre, la perturbación típica del cuprismo, la hemólisis, debida a la gran apetencia del cobre por los lípidos de la membrana celular del eritrocito, y la ictericia, por la necrosis del hepatocito. Se ha estudiado la influencia de los altos niveles de cobre con la reducción de vida del eritrocito. La muerte puede ser resultado de falla renal, debido a una tubulonefrosis ^{19, 46}.

Signología

La intoxicación cúprica aguda se presenta por tratamientos excesivos con cobre o por la ingestión de alimentos o sustancias contaminadas por cobre.

Los signos de intoxicación aguda son náuseas, vómitos, cuando es posible, salivación, diarrea, dolor abdominal intenso, taquicardia, convulsiones, parálisis y colapso que puede conducir a la muerte. La perturbación típica del cuprismo es la hemólisis y con esto la ictericia. Las heces contienen moco y son de color verde oscuro debido a la formación de un complejo cobre-clorofila. Las lesiones en el cuprismo agudo no son características, suele haber congestión del tubo digestivo, hígado, bazo y riñón.

La signología de intoxicación crónica se manifiesta por dos hechos típicos, la ictericia y la hemoglobinuria, aunque también suelen presentarse descenso del contenido de hemoglobina y del hematocrito, leucocitosis y en ocasiones uremia.

Las lesiones dominantes son la ictericia generalizada y hepatomegalia, con cambios degenerativos, y necrosis centrolobulillar ^{18, 46}.

Diagnóstico

Por las razones mencionadas es de utilidad el análisis en hígado, riñón y sangre para determinar concentraciones tóxicas. La extracción ácida de este elemento mediante digestión por horno de microondas ha sido probada bajo condiciones de presurización, teniendo resultados satisfactorios ^{19, 29, 69}.

CROMO

Fuentes

Se considera como fuentes más comunes los cromatos y dicromatos; estos son producidos por la industria eléctrica y del galvanizado. La utilización del cromo se relaciona con el revestimiento de otros metales, de cambios de color de varios tipos de metales; además de que es un agente importante en los procesos de curtido de pieles. Otras industrias que emplean al cromo son las de cemento, colorantes, material fotográfico y material refractario ^{20, 29, 42}.

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

La vía más expedita y facilitada del ingreso del cromo es por la vía respiratoria. Aproximadamente el 50% del cromo inhalado se absorbe, dependiendo del tamaño de la partícula, de la solubilidad y de la forma química. Los compuestos hexavalentes son los más rápidamente absorbidos en el pulmón que los trivalentes.

aunque luego en la sangre se transforman en trivalentes. Por vía digestiva se ha observado que su absorción es ineficaz, ya que no alcanza más del 6% ingerido.

El cromo absorbido pasa a la corriente sanguínea en donde adquiere la forma trivalente y se distribuye por varios órganos, principalmente el sistema retículo endotelial, el hígado, el bazo y los huesos. Se ha demostrado una gran afinidad de los eritrocitos por el cromo hexavalente, parece ser que el blanco en el eritrocito es la hemoglobina, y en particular la fracción globina. Gran parte del cromo inhalado queda depositado en pulmón, en donde puede ser concentrado mucho tiempo después de la exposición.

Las vías de eliminación son principalmente por la orina y las heces^{20, 64}.

Bioacumulación

Existen indicios de que el cromo puede acumularse en distintos animales y vegetales, principalmente acuáticos. Así, puede ser que las cantidades de cromo presentes en organismos que sirvan como alimento a otros y, por lo tanto, que se haga presente en la cadena alimentaria²⁰.

Fisiopatología y Toxicidad

Aunque se dice que la acción tóxica del cromo está restringida a compuestos como los cromatos y dicromatos, hay evidencia de que el trióxido de cromo es cancerígeno³⁰.

El cromo se encuentra en cantidades vestigiales en el hombre. La tasa natural en animales puede aumentar hasta 1 ppm. Pero la dosis letal ya se considera en 0.3 - 0.7 ppm⁴⁸.

Una dosis diaria de 30 - 40 mg/kg de peso corporal produjo intoxicación crónica grave en terneros jóvenes de un mes. La dosis letal aguda en bovinos es al rededor de 20 veces esa cantidad⁴⁸.

Las alteraciones más destacadas son las alteraciones al tracto digestivo, en la intoxicación aguda se presenta inflamación aguda, congestión intensa a lo largo

del intestino y desprendimiento de la mucosa gástrica. En la intoxicación crónica, se observa inflamación y congestión más marcado en las primeras porciones del tracto digestivo ²⁹.

Signología

La signología clínica sobresaliente en este tipo de intoxicación se localizó en tracto digestivo. En la intoxicación aguda se desencadena vómito sanguinolento y diarrea abundante. La gravedad del caso puede conducir a colapso y muerte por uremia. A la necropsia se ha observado inflamación y congestión intensa a lo largo del intestino y desprendimiento de la mucosa gástrica.

En la intoxicación crónica, se pueden observar erosión y color amarillento de los dientes, así como signología de dolor abdominal, hepatitis y nefritis. Las lesiones observadas son la inflamación y la congestión en estomago(s), ulceraciones graves y casi perforación (bovinos) ^{20, 29, 60}.

Diagnóstico

Para su diagnóstico pueden ser de utilidad muestras de orina, hígado y sangre ²⁹.

MERCURIO

Fuentes

Las fuentes de mercurio pueden ser muy diversas y en muchos casos extrañas, se han podido detectar concentraciones bajas en huevos de pollos tratados con fungicidas, e incluso en carne de supermercado. Hay tres formas de

presentación del mercurio de importancia: mercurio metálico, inorgánico y los compuestos orgánicos ^{10, 52}.

Entre las fuentes más importantes a considerar se encuentran las actividades de extracción y refinamiento, en utilización industrial y agrícola. En el área de la industria se puede mencionar la fabricación de instrumentos de medición, lamparas, tubos de rayos X, etc. En la agricultura tiene gran importancia, principalmente como plaguicida en el control de hongos (aunque su uso se reduce al existir alternativas con menor riesgo).

En el agua el mercurio puede sufrir el proceso de metilización transformándose en metilmercurio, el cual puede ser ingerido y bioacumulado por los peces y biota acuática, y a través de éstos puede alcanzar al humano ²¹.

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

La solubilidad del mercurio depende de su estado de valencia y compuesto químico. El mercurio puede ser inhalado, cuando la presentación es en sales inorgánicas, compuestos orgánicos y mercurio metálico; por vía digestiva, en presentación de sales de mercurio y compuestos orgánicos; y cutánea en el caso de presentaciones orgánicas y líquidas. Se ha demostrado que el mercurio metálico se absorbe, aunque de manera pequeña, por los bulbos pilosos y glándulas sebáceas en el perro y en el gato. Así también se han reportado intoxicaciones en bovinos como consecuencia de tratamientos con pomadas o ungüentos de animales mantenidos en el mismo establo.

La vía de entrada más importante es, sin embargo, la digestiva. en el tubo digestivo los compuestos solubles son rápidamente absorbidos, mientras que los insolubles tienen previamente que sufrir la solubilización, es decir, pasar de la sal mercuriosa a la mercúrica.

Al ser absorbidas las sales inorgánicas de mercurio, pasan a sangre y se distribuyen por igual entre el plasma y los eritrocitos, se unen con proteínas plasmáticas y a grupos sulfhidrilos. En general el mercurio queda depositado en riñones y otros órganos como hígado, tracto intestinal, piel, bazo y los testículos.

Los compuestos orgánicos de mercurio una vez absorbidos se unen a otras sustancias orgánicas, como aminoácidos, peptinasas, cistina y glutatión. En la sangre se concentran en gran cantidad en los eritrocitos (90%). De aquí pasan a acumularse al cerebro y a los demás órganos del cuerpo, e incluso manteniendo además una concentración alta en sangre.

La mayor parte del mercurio puede ser excretado por heces y orina y en parte por vía respiratoria (vapores); ocurriendo esto en general en los siguientes 60 días a la exposición; sin embargo, en cerebro se puede acumular hasta por un año ^{11, 21, 46.}

64

Se ha observado que existe la posibilidad de ingerir mercurio a través de leche de vacas que habitan en áreas metropolitanas como la nuestra ⁵⁸.

Bioacumulación

Los compuestos metilmercuriales se hacen presentes en la cadena alimentaria porque en aquellos lugares donde hay contaminación, presentan una fuerte tendencia a la bioacumulación en los animales (aves, peces y mamíferos ictiófagos) y en los vegetales ²¹.

Fisiopatología y Toxicidad

Entre los metales cuyos residuos en la carne de pescado provocan sobre todo decomisos por las concentraciones registradas y su acción peligrosa en la salud se encuentra el mercurio.

La acumulación del mercurio en la carne de pescado ha cobrado mayor importancia, y existen disposiciones oficiales, se consideran dosis todavía tolerables en músculo de 0.5 ppm en U.S.A. y de 1.5 ppm en Japón y Alemania ⁴⁸.

La toxicidad del mercurio depende en gran medida de la forma o presentación de éste al ser introducido al organismo; en su forma orgánica o inorgánica, el compuesto formado y la exposición a éste. Los efectos y las lesiones en los tejidos así mismo, dependen de estos factores ^{21, 46}.

Al mercurio no se le conoce ninguna función fisiológica beneficiosa, bajo cualquiera de las formas en que se presenta se considera tóxico. El mercurio existe en variedad orgánica e inorgánica, particularmente es notoria la toxicidad de los componentes orgánicos de éste, como lo son el metil y etil mercurio. El mercurio metálico atraviesa fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta. La vida media del mercurio en el organismo puede variar de pocos días hasta varios meses. Los compuestos orgánicos por su solubilidad pasan fácilmente las membranas biológicas, así como la barrera hematoencefálica y la placenta ^{21, 46}.

El mercurio origina en el organismo perturbaciones metabólicas, asociándose a las proteínas azufradas, ácidos nucleicos y lípidos. Se han podido detectar efectos cromosómicos asociados a los compuestos de aril-mercurio ^{52, 68}.

Las lesiones observadas son muy diversas y se incluyen nefritis intersticial, bronquitis catarral subaguda, edema en linfonodos, hemorragias subendocárdicas y subepicárdicas, hemorragias en tracto digestivo, necrosis focal y degeneración hidrópica hepática, y cambios vasculares a nivel de sistema nervioso central. A nivel experimental se han observado lesiones diversas en branquias riñón e hígado de tilapia, lesiones como inflamación proliferativa, necrosis coagulativa con cuerpos de inclusión en hepatocitos ^{45, 52, 68}.

Signología

Las manifestaciones agudas de mercurio metálico varían según la vía de entrada, en el caso de la inhalación de vapores se puede observar bronquitis de tipo erosiva, neumonía intersticial, dando un cuadro de edema pulmonar agudo; el paciente puede morir por insuficiencia respiratoria. Con esto, también se han observado signos nerviosos como temblores y excitabilidad. La ingestión de

mercurio metálico tiene pocos efectos sistémicos debido a su baja absorción en el tracto gastrointestinal: localmente puede producir un efecto irritativo que se puede expresar en diarrea. En el caso de ingestión de sales de mercurio se puede observar vómito, dolores abdominales, diarrea hemorrágica, colapso y muerte. Los compuestos mercuriales orgánicos pueden generar una signología similar a la anterior, pero son más comunes los signos neurológicos como son alteraciones motoras y sensoriales, ceguera, sordera, etc.

La signología crónica corresponde a manifestaciones del sistema nervioso central. Los signos se relacionan con el tiempo de exposición; puede verse irritabilidad, excitabilidad y depresión. El temblor es uno de los signos más comunes en el mercurialismo ²¹.

En orina, se puede observar además de la hematuria, orina densa y cargada de cilindros y células renales, que reflejan una necrosis nefrótica, anuria y uremia ⁸.

Diagnóstico

Los compuestos mercuriales son muy volátiles, las temperaturas requeridas para la digestión de materia orgánica permiten pérdidas con facilidad. La digestión con horno de microondas es en este caso de mayor importancia, evitando pérdidas por volatilización.

Debido a las concentraciones que hoy en día son de consideración, es recomendado realizar estudios por medio de generación de vapor frío para su determinación ^{2, 9, 10, 38}.

Las muestras que se pueden remitir al laboratorio pueden ser riñón, hígado, sangre (no útil en el caso de sales inorgánicas de mercurio), orina (no útil en el caso de metilmercurio) y pelo ^{21, 29}.

PLOMO

Fuentes

Las emisiones de plomo al medio ambiente han sido, a lo largo de la historia, de las de mayor incremento debido al desarrollo industrial, aunque en la actualidad se han mostrado esfuerzos por reducir su uso en distintas áreas⁵².

Las principales fuentes antropogénicas que contaminan el ambiente urbano son, primero, la combustión de gasolina que contiene aditivos de plomo y, en segundo lugar de importancia, la fundición primaria del plomo. A nivel de campo se puede explicar la posible contaminación debido a maquinaria agrícola; por gasolinas, aceites, baterías, aditivos y recipientes galvanizados.

Se ha citado a las pinturas como las fuentes más comunes de este elemento, aunque en la actualidad se ha ido eliminando o substituyendo su presencia en esta rama. Las pinturas modernas pueden contener hasta un 3% de plomo. Otras fuentes de plomo son el plomo blanco (2PbCO_3) y rojo (Pb_3O_4) usado por los fontaneros, la masilla, el linóleo, las pelotas de golf, los aislantes para techumbres, las pesas de plomo empleadas por los pescadores, la munición de plomo usada en cacería, grasa lubricante, gasolina, aceites, pulverizaciones con arsenito de plomo y las tuberías de plomo.

El agua, al igual que el aire, se transforma en una fuente de contaminación para la flora y fauna acuática. La exposición del plomo a través del agua es, sin embargo, mínima debido a que forma esencialmente compuestos insolubles de tipo carbonatos y sulfatos²².

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

El plomo es absorbido por inhalación, por ingestión y a través de la piel. La vía de ingreso, el tamaño de la partícula y el tipo de compuesto de plomo (orgánico

o inorgánico), determinan la concentración y la posibilidad de difusión del plomo hacia el organismo. Además de esto la concentración del plomo depende de factores propios del organismo, tales como la edad, el estado fisiológico y la integridad de los tejidos.

Un 35% del plomo inhalado se deposita en las vías aéreas, parte de éste es absorbido por deglución al regresar a faringe, y parte pasa a sangre vía alveolar. La vía aérea tiene gran importancia puesto que es más peligrosa que la vía digestiva.

La vía digestiva es la puerta de entrada más común en el caso de los animales, aunque la mayor parte que llega al aparato digestivo es eliminado por las heces en forma insoluble. La absorción gastrointestinal representa un 10% del plomo ingerido, los compuestos orgánicos son los que se absorben con mayor facilidad. Por la acción del jugo gástrico, parte del plomo insoluble es solubilizado e incluso en el intestino la bilis también lo solubiliza parcialmente, formando colatos, y el resto en forma de fosfatos y sulfatos es eliminado.

La absorción cutánea sólo tiene importancia cuando se tiene contacto con compuestos orgánicos de plomo.

Una vez absorbido el plomo, es transportado por la sangre en su mayor parte, sobre la membrana del eritrocito, otra parte circula unida a la albúmina del plasma y una mínima parte (1%) circula de manera libre, siendo esta última la que se distribuye en los tejidos.

De los órganos, en el hígado es donde queda retenido el plomo en su primera fase, y posteriormente, el plomo si no es eliminado vuelve a circular a sangre y de ahí fijarse en otros tejidos como sistema nervioso central, médula ósea, faneras, riñón, etc.

Sin embargo, el depósito principal de plomo son los huesos, ya que retienen el 90-95% del absorbido. El plomo depende mucho del metabolismo del calcio, puesto que ambos depósitos son concomitantes; por ello el plomo puede ser movilizado por infecciones, parathormona, dihidrotaquisterol, quelantes, hipocalcemia, etc.

Las rutas que sigue el plomo en el organismo son similares a los movimientos del calcio. La eliminación del plomo del organismo se realiza por las heces, orina, saliva, leche, sudor y faneras. La presencia en tejidos animales y su eliminación por leche hace posible la intoxicación de crías y del hombre ^{22, 44, 46, 52, 56}.

Bioacumulación

El plomo puede acumularse en altas concentraciones en una gran variedad de organismos como moluscos, crustáceos, peces, aves, mamíferos y plantas. De especial interés puede ser la acumulación de compuestos orgánicos de tipo alquílico en organismos acuáticos ²².

Fisiopatología y Toxicidad

Todas las especies animales son susceptibles a la intoxicación por plomo, pero es más frecuente observarla en ganado bovino, caballos, aves acuáticas, peces y perros. Los animales jóvenes son los más susceptibles. Las cabras, las aves de corral y los cerdos son más tolerantes a niveles relativamente altos. Las intoxicaciones agudas son poco frecuentes y se producen bajo circunstancias ambientales reducidas a una determinada población, la cual es expuesta a grandes cantidades del metal ^{25, 46, 52}.

El consumo de pescado en este sentido puede significar un peligro para los animales domésticos y el hombre por la afinidad del plomo a los tejidos óseo, conjuntivo y muscular, aún cuando las concentraciones en músculo solo se ven alteradas en concentraciones muy altas. Pese a esto se deben establecer valores máximos que no sean superiores a 0.5 ppm ⁴⁸.

Se puede considerar dosis de intoxicación aguda de 400 a 800 mg/kg en bovinos ⁴⁶.

La acción del plomo a nivel celular es compleja. Se admite que trastorna los fenómenos de óxidorreducción, ya que forma sales insolubles con las codehidrasas I

y II por sus poderosas características reductoras, originando así perturbación del metabolismo celular del hidrógeno.

Por otro lado el plomo interfiere con el metabolismo de las porfirinas y, por tanto, con la síntesis del grupo hemo, habiéndose atribuido a ello no sólo los problemas anémicos que origina, sino también, perturbaciones nerviosas (más notorias en el hombre). Igualmente se sabe que el plomo interfiere con la ALA-deshidrasa y, por tanto, bloquea el metabolismo del ácido aminolevulínico. En general se considera que el plomo interfiere con las enzimas que contienen el grupo tiol²².

Dependiendo de la naturaleza de exposición se pueden encontrar lesiones a nivel de tracto digestivo. Las lesiones vistas en cuadros agudos y subagudos generalmente incluyen gastritis moderada, degeneración centro lobulillar hepática, inclusiones acidófilas en hepatocitos. El músculo puede observarse con degeneración e incluso necrosis. Los riñones se observan hiperémicos con algunas hemorragias, se observa además degeneración y fibrosis renal en casos crónicos. Histológicamente se observa cápsula hialinizada, degeneración y necrosis de túbulos contorneados proximales, así como cuerpos de inclusión intranucleares.

A nivel de cerebro, en envenenamiento agudo, se observa edema, inflamación, congestión severa de tejido cortical, hemorragias petequiales y necrosis neuronal laminar. Las lesiones histopatológicas incluyen necrosis cortical laminar, proliferación endotelial y de astrocitos, acumulación de microglía e infiltración eosinofílica de leptomeninges⁴⁶.

Signología

Aunque la intoxicación por plomo es más importante en bovinos, perros y animales acuáticos, puede darse también en otras especies.

La intoxicación por plomo no ha tenido una uniformidad en cuanto a su designación, según se llame intoxicación aguda o intoxicación crónica o saturnismo.

La presentación depende del grado y tiempo de exposición ya que el plomo es un metal bioacumulable.

La forma aguda de intoxicación es la más frecuente en bovinos, ovinos y porcinos. aunque como ya se menciona puede presentarse también en otras especies. Suele presentarse a los dos a tres días de la ingestión y cursa con signos nerviosos y digestivos. Los trastornos nerviosos suelen ser depresión, ataxia y excitación, alternando con somnolencia, pupila dilatada y ceguera, convulsiones y rechinar de dientes. Los trastornos digestivos son sed, salivación excesiva, anorexia, motilidad del rumen disminuida o anulada, constipación seguida de diarrea con heces líquidas de olor pútrido y frecuentemente negras, y dolor abdominal con abdomen contraído. A veces se observan gemidos, disnea, micciones repetidas y dolorosas, sudoración y taquicardia inicial que pasa a bradicardia, y pueden morir a las pocas horas de iniciado el proceso (1-2 horas).

El saturnismo crónico suele observarse principalmente en el perro y el gato, a veces en los equinos y raramente en los bovinos y ovinos. Se caracteriza por existir siempre un periodo asintomático inicial de duración muy prolongada. los principales signos que se observan son: adelgazamiento progresivo, hipotermia y aparición de la llamada anemia saturnina, originada por la disminución de la supervivencia del hematíe e interferencia, con su formación y renovación. Además se puede apreciar anorexia, vómitos, constipación alternando con diarrea, olor fétido de heces, pigmentación de mucosa gingival. En el aparato neuromuscular, se observan dolores musculares que constituyen el reumatismo saturnini, paresia y parálisis de los extensores, irritabilidad en el perro y gato. En el aparato urinario aparece albuminuria como reflejo de la nefritis. Otros signos que se pueden presentar son hipertensión, mucosas pálidas, fragilidad capilar, bronquitis y abortos^{22, 24, 30, 46}.

Es de llamar la atención que en estudios realizados con anterioridad en el área metropolitana y en distintas especies se han detectado niveles tóxicos en distintos tejidos, y sin embargo los animales no han mostrado signos de enfermedad^{45, 56, 61}.

Diagnóstico

La determinación de plomo puede realizarse en sangre, orina, hígado, riñón, hueso, heces, leche y pelo. Éste es uno de los metales más estudiados en el hombre y en los animales domésticos, de ahí la posibilidad de contar con valores de referencia en distintos tejidos ^{10, 22, 46, 65}.

ZINC

Fuentes

El zinc y sus compuestos se usan en el comercio y en la medicina. Las fuentes más comunes son las fábricas de hierro galvanizado, el cloruro de zinc usado en la plomería, soldadura de zinc y la pintura de zinc que contiene óxido o carbonato.

El zinc metálico es soluble en aguas blandas en las mismas condiciones que el plomo. También se disuelve en ácidos orgánicos, y puede unirse a los alimentos, particularmente a la leche y a los productos lácteos mantenidos durante algún tiempo en recipientes de hierro galvanizado, como consecuencia de la formación de lactato de zinc ^{8, 30, 33}.

Toxicocinética

Absorción, distribución y eliminación

En el caso de peces, el zinc es absorbido a nivel de branquias e intestino, pasando después al hígado, pero la mayor parte vuelve a eliminarse cuando los peces se trasladan a un agua exenta de zinc. Se ha estudiado que la absorción de zinc por intestino es baja, pero fisiológicamente significativa. El porcentaje de

retención de dosis administradas en ratones muestran una mayor acumulación a nivel hepático y renal. La eliminación se produce por vía urinaria y fecal^{30, 64, 66, 69}

Fisiopatología y Toxicidad

Las deficiencias de zinc cobran mayor importancia que las sobredosis, pero esto no impide que en algunas situaciones debe considerarse como un factor importante en el cuadro de intoxicaciones¹⁰.

La toxicidad del zinc depende de la dureza del agua, de la concentración de oxígeno y de la temperatura; además influye la edad y lo que se ha denominado el acostumbramiento. Parece ser que los animales jóvenes son más susceptibles a la intoxicación por zinc que los adultos.

La dosis letal de zinc en la anguila es de 6.5 ppm tras una actuación de 20 horas; las crías de trucha arco iris mueren después de éste mismo plazo de acción, pero también a una dosis de 0.01 ppm, mueren al cabo de 28 días^{48, 66}.

Se han descrito intoxicaciones en lechones que recibieron 0.1% de zinc en forma de lactato en una ración compuesta en mayor parte por leche. Sin embargo, se ha detectado mortalidad en concentraciones de 2% en bóvidos. Parece ser que se pueden consumir dosis altas de zinc sin que se manifieste signología, pero se considera que una dosis de 6-9 ppm en el agua de bebida podría causar pérdidas económicas considerables, y que incluso dosis de 50-500 ppm pueden llegar a causar la muerte.

En intoxicación aguda por zinc se puede llegar a observar enfisema pulmonar, palidez de miocardio, hemorragias petequiales en riñón y degeneraciones hepáticas^{30, 65}.

Signología

Grandes dosis de zinc producen signos generales de intoxicación aguda por metales, esto es, vómitos, purgación, dolor abdominal y colapso. En bovinos se

produce una drástica disminución de la producción de la leche. Algunos animales se muestran somnolientos y desarrollan paresia.

La intoxicación por vapores de óxido de zinc puede producir fiebre, disnea, anorexia, interrupción de la producción de leche y enfisema subcutáneo del cuello y pecho. Estos signos van seguidos a los pocos días por la muerte.

Los primeros signos de intoxicación crónica en el cerdo son disminución de ganancia de peso, reducción del apetito y del índice de transformación. Además se han descrito artritis, hemorragias externas en los espacios auxiliares, gastritis, enteritis catarral, congestión del mesenterio y hemorragias en ventrículos cerebrales, nodos linfáticos y bazo ^{8, 30, 66}.

Diagnóstico

El análisis de tejidos y de líquidos orgánicos puede confirmar el diagnóstico de intoxicación por zinc. En bóvidos, los niveles medios de zinc son: hígado, 135 ppm; riñón, 80 ppm. En animales intoxicados por zinc los valores son: hígado, 2000 ppm; riñón, 670 ppm ³⁰.

RELEVANCIA DE LOS METALES PESADOS EN LA ACUACULTURA Y SU RELACIÓN CON LA LAGUNA DE ZUMPANGO

En México la práctica de la acuicultura se refiere a el cultivo de especies como carpa, trucha, mojarra, charal, acocil y bagre principalmente. En el caso de la carpa se ha reportado un volumen de captura en peso vivo de 3,313 toneladas, siendo en su gran mayoría correspondientes al sector privado. Éste volumen corresponde a un 41.8 % de la captura total de especies de agua dulce ³¹.

Las relaciones socioeconómicas y los incrementos demográficos señalan un marco de trabajo agropecuario-ejidal, así como de la existencia de masas de agua temporales dependientes del ciclo anual de lluvias, de la biota y del clima. Sin embargo es de considerarse la situación actual de nuestro país debido al pobre control de las emisiones industriales y domésticas, teniendo en cuenta el factor de riesgo tóxico que se presenta en cualquiera de los organismos presentes en los cuerpos de agua ⁵¹.

La contaminación de los ecosistemas acuáticos afecta no solo a las comunidades de hidrobiontes, sino que también altera la calidad del agua para consumo directo y produce un impacto negativo importante en las actividades productivas como la pesca y la acuicultura. Uno de los efectos más obvios de la contaminación es el que deriva de la toxicidad de los compuestos vertidos en los efluentes, que tienen diferentes formas de acción y con frecuencia presentan interacciones complejas con el medio, que afectan su toxicidad ³⁹.

Los efectos tóxicos de los contaminantes dependen de su biodisponibilidad y persistencia, de la capacidad del organismo para acumularlos o excretarlos (metabolizarlos), y de la interferencia de tales compuestos con procesos fisiológicos o ecológicos específicos ³⁹.

Los ecosistemas acuáticos tradicionalmente han sido el vehículo y depósito final característico de un sin número de contaminantes que ingresan por diferentes vías: al ser vertidos directamente para su eliminación (efluentes domésticos e industriales), como arrastres diversos (aporte de agua de lluvias y aguas de riego), como precipitaciones atmosféricas o como resultado de derrames accidentales ²⁷.

El problema del agua como recurso se agudiza ante la demanda creciente y la aún reducida aplicación de sistemas de tratamiento. Debe señalarse que no obstante el deterioro notable en los ecosistemas acuáticos, no es sino hasta las tres últimas décadas que se empiezan a tomar medidas para el control de la contaminación en países industrializados ³⁹.

Se debe considerar y estudiar la acumulación de metales pesados en peces cultivados en cuerpos de agua vertidas con aguas de desecho. La tasa de crecimiento en estanque es muy rápida, y la duración del periodo de crecimiento es por lo general corta, reduciendo así la acumulación de metales pesados, aunque la concentración de dichos metales pudiera ser relativamente alta en el agua. Sin embargo, es necesario monitorear constantemente el contenido de metales pesados en la genobiota del cuerpo de agua para poder hacer así una valoración del alcance en salud pública y los efectos en los animales domésticos que llegaran a ser alimentados con productos provenientes del cuerpo de agua ²⁷.

Las aguas de desecho son de manera generalizada vertidas a la mayoría de los cuerpos de agua, como es el caso de la laguna de Zumpango, se pueden obtener beneficios del uso de esta agua, pero su aplicación debe ser limitada. Además del efecto de la materia orgánica sobre la concentración de oxígeno y el desarrollo posible de anoxia debido a una carga excesiva, se deben considerar diferentes tóxicos, entre ellos los metales pesados ²⁷.

Los responsables más frecuentes de intoxicaciones minerales son los metales pesados: principalmente plomo, mercurio, cobre, zinc, cromo, cadmio y arsénico. El definir los niveles máximos de seguridad de cada metal depende de factores como acidez o alcalinidad, temperatura, contenido de oxígeno disuelto, presencia de otros metales (éstos a menudo actúan sinérgicamente, como el cadmio

en presencia del zinc y el cobre), duración de la exposición, la especie y edad del pez en cuestión ⁵⁷.

En México existen criterios ecológicos que regulan la calidad de agua para acuicultura (Tabla 1), y en especial para la cría de carpas:

TABLA 1: Criterios ecológicos de calidad del agua para acuicultura

Parámetro o sustancia	Valores máximos
Color	Verde - Azul verde
Transparencia	30-50 cm
Temperatura	20-30 °C
pH	7-8.5
Oxígeno disuelto	5 mg/l
Dureza	300 mg/l
Arsénico	1 ppm
Cadmio	0.05 ppm
Cromo (hexa y trivalente)	0.5-1 ppm
Cobre	0.02 ppm
Plomo	0.1 ppm
Mercurio	0.003 ppm

Es importante mencionar que varios parámetros, y en especial los de metales pesados, fueron obtenidos por modelos matemáticos en base a factores de multiplicación (variables de acuerdo a la toxicidad del elemento) por las dosis tetales conocidas ^{14, 15, 16}.

La laguna de Zumpango es receptora de aguas negras, el porcentaje de entrada de este tipo de aguas ha ido disminuyendo con el tiempo, teniendo como objetivo un máximo de 20%. Se han realizado diversos estudios en el agua por parte de la Residencia General de Calidad del Agua, del Sistema Nacional de Calidad del

Agua. Las mediciones se han realizado de 1988 a 1991 y los resultados para el último año se muestran en la Tabla 2:

TABLA 2: Calidad del agua de la Laguna de Zumpango en 1991

Parámetro o sustancia	Valores reportados
pH	7.2
Dureza	74.8 mg/l
Cromo	0.01 ppm
Cobre	0.0 ppm
Arsénico	0.02 ppm
Cadmio	0.21 ppm
Mercurio	0.0005 ppm
Plomo	0.1055 ppm

22

Con base en lo anterior se puede suponer que no existen indicios que propongan la contaminación de los peces, los valores reportados encontrados en el agua de la laguna indican estar dentro de los límites recomendados, estando el plomo en el margen del límite. Sin embargo se debe considerar que el estudio al sólo valorar el agua excluye otros factores que no pueden ser medidos en el agua. Estos factores comprenden el comportamiento mismo de un ser vivo, el cual puede estar expuesto a condiciones fisicoquímicas diferentes a lo largo de su vida, y por tanto, observarse un comportamiento diferente en la acumulación de metales pesados con respecto a las determinaciones realizadas en el agua.

ANTECEDENTES

La laguna de Zumpango constituye uno de los últimos vestigios prehistóricos del gran cuerpo de agua del valle de México, su tamaño se ha ido reduciendo a lo largo del tiempo, en nuestros días cuenta con una extensión de 2000 hectáreas, con 18.5 km de perímetro de bordo, una captación de agua de 53, 750, 000 m³ y la meta es de 100 millones de m³, el agua proviene del Río de Cuautitlán, Presa de Guadalupe y escurrimientos naturales de agua pluvial. Actualmente es un almacenamiento de agua para incorporarla a la agricultura ⁶³.

Su calidad del agua es de uso agrícola excepto hortalizas, por haberse detectado el contenido de metales pesados, así como de sustancias tóxicas. Actualmente la laguna presenta invasión de lirio acuático el cual es triturado cotidianamente por zonas con equipo destinado para este fin ⁶³.

Se reporta que en esta localidad existe la unión de siete comunidades de pescadores de la laguna, la cual comprende la unión de 400 personas. diariamente trabajan 70 pescadores que obtienen en promedio de 50 kg de pescado diariamente, esto es 3, 500 kg en total ⁶³.

Se han realizado análisis de metales pesados anteriormente a las carpas, pero los resultados han generado controversias ya que dichos análisis se han realizado en uno o cuando mucho tres ejemplares ⁶³.

Las controversias radican en los niveles detectados por distintos laboratorios, por un lado se han mencionado niveles no permisibles que impiden el consumo y aprovechamiento del recurso, y por otro, se tienen reportes que indican que los niveles se encuentran dentro de lo permisible ^{23, 63}.

Más que pensar en los intereses que pudieran estar involucrados en dichos estudios, es de importancia mencionar que los métodos y técnicas de detección son sumamente sensibles y que el manejo y procesamiento de las muestras, así como el

número de éstas, pueden influir en forma determinante en los resultados. Es por esta razón que se necesitaba de un análisis con un número apropiado de muestras y bajo condiciones de manejo recomendadas para este fin.

La importancia de la intoxicación por metales pesados no debe verse de manera aislada, debe considerarse la interrelación y sinérgismo que se puede presentar entre ellos, el riesgo presente de intoxicación directa o indirecta al consumir productos alimenticios contaminados, y vigilar o monitorear constantemente la presencia de trazas de estos, ya que aún cuando pudieran estar dentro de límites de tolerancia, su exposición crónica y los efectos de bioacumulación en los tejidos podrían representar un riesgo de salud pública.

OBJETIVOS DE LA TESIS

Objetivo general:

Determinar la concentración de arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc en tejidos de carpa de la Laguna de Zumpango, a través de la implementación de la técnica de absorción atómica y métodos colaterales, estableciendo si los niveles encontrados se consideran permisibles para el consumo humano.

Objetivos particulares:

1.- Colaborar en la implementación de la técnica estandarizada de absorción atómica en el equipo recientemente adquirido por la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán para la determinación de metales pesados en tejidos animales.

2.- Evaluar la concentración de metales pesados en tejidos de carpas de la laguna de Zumpango, Estado de México.

3.- Determinar si los niveles encontrados rebasan los límites permisibles para el consumo humano y otros usos.

4.- Contribuir en la conformación de tablas de "valores normales" de metales pesados para especies destinadas al consumo humano a nivel local (zona norte del Edo. de México).

5.- Colaborar en los estudios de toxicidad y ecológicos que se están realizando en la zona lacustre de Zumpango.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

Zumpango se localiza a 60 km al norte del Distrito Federal y a 120 Km de la ciudad de Toluca, a una altitud de 2, 250 msnm (metros sobre el nivel del mar). El clima es templado húmedo, con vientos dominantes de Noroeste a Suroeste, la precipitación pluvial anual es de 217.91 ml, la temperatura máxima es de 31 °C y la mínima de 2.5 °C⁶³.

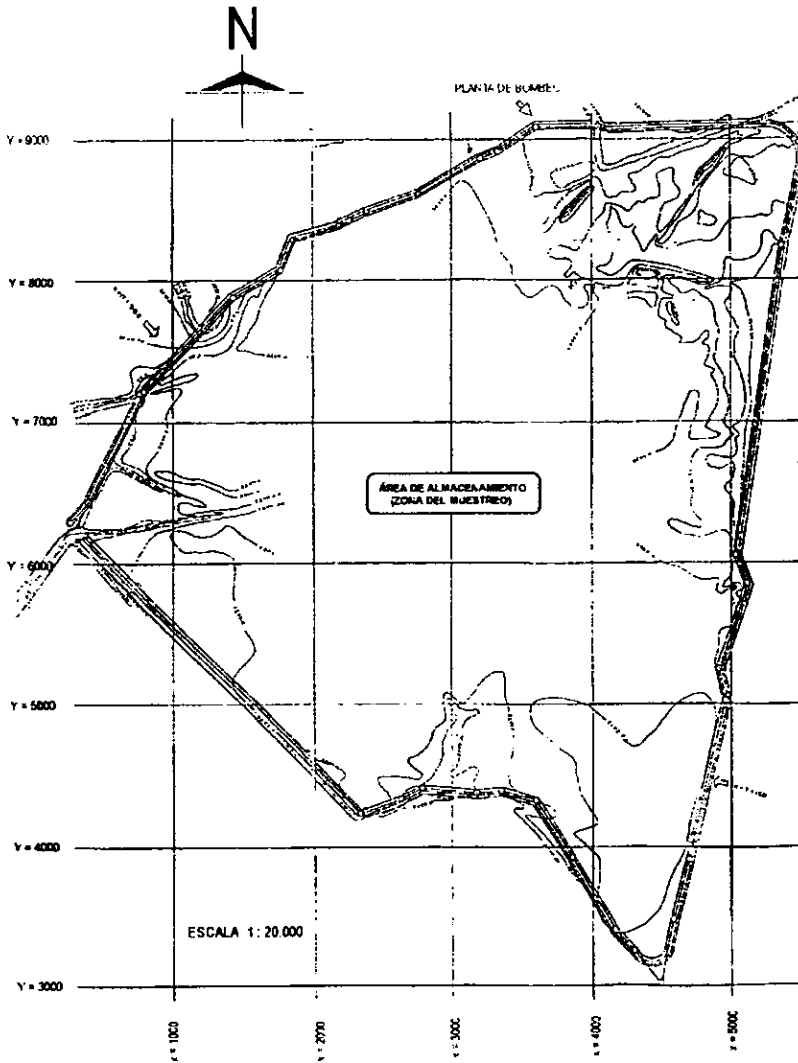
Material biológico

Se trabajó con carpas (*Cyprinus carpio sp*) de la Laguna de Zumpango. Los lugareños reconocen diferentes variedades y los nombres comunes identificables son: carpa común, carpa escamuda, carpa espejo y carpa de Israel. En realidad corresponden a cruza de las variedades de *Cyprinus carpio comunis* y *Cyprinus carpio specularis*, ambas de hábitos de alimentación omnívora^{1, 41, 63}.

Los pescadores de la laguna emplean las carpas para consumo propio o para venta a nivel local. La pesca del día tiene dos destinos: su extracción inmediata de la laguna para su consumo o venta y el cautivo temporal en un "encierro o corral", zona localizada en el mapa de la Figura 1. Las carpas que se retienen en dicha zona son aquellas que entran dentro de las características de consumo, esto es, tamaño mínimo para ser retenidas por las redes y un peso mínimo de 500 g. La distribución y estancia de las carpas en esta área es variable, ya que depende de las necesidades de los pescadores y de la demanda local.

Asumiendo que la pesca es un proceso de selección aleatorio las carpas se obtuvieron de esta área de concentración, donde se recolectan peces de todas las zonas posibles de pesca de la laguna. A su vez, se decidió que estas carpas cumplieran con los objetivos del presente trabajo⁴⁷.

FIGURA 1: Plano de la Laguna de Zumpango



Se obtuvieron 30 carpas de 21 cm de longitud total y de un peso de 900 g en promedio, a partir de ocho muestreos con diferencia de una semana entre cada uno de ellos, comprendiendo los meses de mayo y junio de 1995, tomando en consideración los cambios en el cuerpo de agua por el inicio del periodo de lluvias. De cada carpa se recolectó 150 g de músculo (principalmente de la región dorsal, al reportarse que son los músculos en los que existe la mayor acumulación de metales pesados), hígado y riñón en su totalidad; trabajando finalmente con un número total de 90 muestras. Los cortes para la recolección fueron realizados con cuchillo, pinzas de disección y tijeras. Las muestras de músculo fueron colocadas en bolsas de polietileno y en el caso del hígado y riñón en recipientes de vidrio, previamente lavados y enjuagados con una solución de ácido nítrico al 50 % y agua desionizada, con la finalidad de evitar la contaminación con metales presentes en dichos materiales. Todas las muestras fueron conservadas en congelación hasta su procesamiento^{12, 28, 70}.

El procesamiento de las muestras incluyó el pesar la muestra, la digestión de ésta para tenerla en solución y la determinación por la técnica específica para cada metal y de los límites mínimos deseados de detección, lo cual implicó 630 determinaciones, más sus respectivas réplicas y repeticiones.

A las muestras se les determinó arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc. Todas las muestras llevaron el siguiente proceso:

Digestión de la muestra.

La digestión de muestras es un paso necesario y prioritario para la determinación de metales pesados por espectrometría de absorción atómica. Las muestras biológicas no son completamente solubles en agua o en solventes orgánicos. Es por ésto que su análisis requiere de la descomposición y eliminación de la materia orgánica para de esta manera obtener los elementos de interés para su análisis. En general, los métodos tradicionales de preparación de las muestras

son tardados y de amplias posibilidades de error, siendo el paso más crítico en el análisis de las muestras ^{6, 35, 38}.

Entre los métodos tradicionales se pueden mencionar la digestión húmeda, la cual involucra la descomposición de materia orgánica a través de la acción de ácidos como clorhídrico, nítrico, fosfórico, sulfúrico, y perclórico. La digestión húmeda presenta amplios riesgos de contaminación, subvaloración por digestión inapropiada, y lo más importante; el trabajo y tiempo requerido. El método de incineración digestión ácida, asegura en cierta medida la total eliminación de materia orgánica, pero por este método existe la pérdida de elementos volátiles como mercurio, arsénico, selenio y plomo; elementos de suma importancia por el peligro que representan para la salud humana, animal y medio ambiente ^{6, 35, 36, 38}.

Recientemente, la digestión ácida en horno de microondas ha ganado aceptación en la disolución de la muestra. La radiación con microondas para disolución de muestras en el laboratorio es el resultado de estudios y ensayos de una extensa modificación de los equipos empleados en el hogar. Los nuevos equipos brindan seguridad para el usuario, menor tiempo requerido para el procesamiento de muestras y mayor precisión en los resultados. Los hornos de microondas proporcionan en la actualidad la capacidad de trabajar con condiciones claramente establecidas; regulando la eliminación de vapores corrosivos, regulación de presión computarizada, control de temperatura y los pasos requeridos dependiendo al tipo de muestra. Este control permite la optimización en el uso del equipo; cantidad de muestra y ácidos requeridos ^{6, 9, 35, 37, 38}.

La digestión en el horno se realiza en vasos cerrados de teflón, el contenido es calentado por las microondas controlando constantes como la temperatura, presión y tiempo de irradiación, de tal manera que el proceso de disolución es más seguro, rápido y confiable que los métodos convencionales de digestión. El material de teflón a su vez, tiene la ventaja de que se puede recuperar la totalidad de la muestra procesada, tiene gran resistencia a los ácidos y a la temperatura empleada. Gracias a esta ventaja los requerimientos de muestra son mínimos, el volumen necesario puede ser de hasta una cantidad claramente confiable de 0.5 g. Los

ácidos más recomendados para el procedimiento de muestras orgánicas son el ácido nítrico (HNO_3), debido a su relativo bajo punto de ebullición ($120\text{ }^\circ\text{C}$), y la mezcla de ácido nítrico y clorhídrico (HCl) a una proporción de 1:3 respectivamente, elevándose ligeramente el punto de ebullición ($180\text{ }^\circ\text{C}$)^{2, 12, 35, 38}.

Digestión en horno de microondas

Material y equipo

Horno de microondas: *Questrom 3000*

Pipeta de doble aforo de 10 ml

Balanza analítica: *Mettler Toledo AB204*

Matraz aforado de 100 ml

Recipientes de plástico de 125 ml

Ácido nítrico (HNO_3) concentrado: *Merk ®*

Agua desionizada por filtro *Millipore - Milli-Q™ Water System*

Método

Se pesó 0.5 g de muestra, colocándola en uno de los vasos de teflón para digestión en horno de microondas, agregando 10 ml de ácido nítrico concentrado y 10 ml de agua desionizada. Se sometió a digestión bajo condiciones obtenidas en ensayos previos, llevando las muestras a $170\text{ }^\circ\text{C}$ en un tiempo de 10 minutos y manteniéndola por otros 15 minutos, para después dejarse enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente el contenido de la digestión fue aforado a 100 ml con agua desionizada y almacenada en recipientes de plástico^{2, 6, 7, 9, 35, 38}.

Nota: *Todo el material que mantuvo contacto con la muestra fue lavado con jabón neutro y enjuagado con ácido nítrico al 50 % y finalmente con agua desionizada.*

Espectrofotometría de absorción atómica.

Los análisis de materiales biológicos han tenido cada vez mayor repercusión en el ámbito de la Medicina Veterinaria. La sensibilidad analítica y rangos dinámicos requeridos en la actualidad demandan la implementación de mejores técnicas de laboratorio.

La espectrofotometría de absorción atómica es una herramienta analítica de gran valor para la determinación de metales traza en muestras biológicas. La confiabilidad de sus resultados se fundamenta en la especificidad para identificar un elemento seleccionado, encontrando pocas posibilidades de interferencia en los resultados ^{13, 43, 64, 71}.

Esta técnica está bien establecida para la determinación de metales pesados y elementos traza. La extracción previa de la materia orgánica es necesaria para su desarrollo, y gracias a las nuevas técnicas de digestión, los resultados emitidos son cada vez más precisos y confiables ^{13, 71}.

La espectrofotometría de absorción atómica se fundamenta en la absorción de luz a una longitud de onda y temperatura determinada de acuerdo a cada elemento. Cuando un átomo pasa de estado basal a estado de excitación ¹³.

La muestra debe estar en solución y el elemento que se va a analizar en forma atómica, esto se consigue a altas temperaturas, utilizando para este caso, flama de aire - acetileno o con atomizadores de horno de grafito, generador de vapor e hidruros, en el caso de requerir de mayor sensibilidad para las determinaciones ^{4, 6, 13}.

Técnica por flama ¹³

El método para flama normalmente requiere de alrededor de 10 ml de muestra.

Para conseguir la atomización de la muestra, ésta es aspirada dentro del quemador o nebulizador, manteniendo así átomos en estado basal. Si se aplica la

precisa longitud de onda y temperatura necesaria para causar que los átomos pasen a un estado de excitación, los átomos absorberán la cantidad de energía para hacer la transición.

Los átomos en estado basal absorben parte de la energía emitida por una lámpara de luz catódica a una longitud de onda específica, pasan a un estado de excitación, y son mecánicamente llevados fuera por la flama del quemador o nebulizador. Éstos átomos subsecuentemente se relajan hasta un estado pasivo, liberando la energía absorbida.

Los gases de la flama producen distintas bandas de absorción y emisión, las cuales pueden causar interferencias y ruido de fondo.

Material y equipo

Espectrofotómetro de absorción atómica: *VARIAN, SPECTRA A 800*

Vaso de precipitado de 250 ml

Probeta graduada de 10 ml

Micropipeta de 1000 μ l marca *Biorad*

Estándares de calibración: *Solutions plus (cromo), ARRO (zinc)*

Blanco de reactivos

Agua desionizada

Método

Se prepararon en promedio tres estándares para curva de calibración y blanco de reactivos, tomando lecturas con tres repeticiones. Las muestras empleadas no recibieron otro tratamiento más que la digestión en el horno de microondas^{9,13}.

Técnica por horno de grafito ^{7, 13, 59}

El sistema de atomización por horno de grafito reduce en gran proporción las limitaciones físicas y químicas presentes en el sistema de atomización por flama. Con el horno de grafito un volumen discreto de solución es vaporizado y los residuos son virtualmente eliminados, el tubo de grafito de esta técnica es una cámara donde se confina la muestra, la cual es calentada por una corriente eléctrica por lo que una densa población de átomos en estado basal es producido por un intervalo grande de tiempo, en contraste a la baja densidad y corta residencia de tiempo en la flama. El sistema de atomización por horno de grafito es típicamente 100 veces más sensible que el sistema de atomización por flama para muchos elementos. Sin embargo el número de elementos que pueden ser analizados por horno de grafito es más limitado que para la técnica de flama.

En el horno se requiere de volúmenes discretos de la muestra (2 - 7 μ l), donde no hay prácticamente pérdida de la misma.

Material y equipo

Espectrofotómetro de absorción atómica

Horno de grafito: *Varian*

Muestreador automatizado para horno de grafito: *Varian*

Patrón para estándares: *ARRO (cobre, cadmio y plomo)*

Blanco de reactivos

Agua desionizada

Método

Gracias a la modernidad del equipo el manejo de la muestra es mínimo, se coloca cada una de las muestras previamente digeridas en el automuestreador, además de el blanco de reactivos y el patrón, con el cual se prepara la curva de calibración, programando al equipo para realizar lecturas intercaladas con la curva de calibración y las lecturas de las muestras ^{13, 59}.

Técnica por generación de hidruros y vapor frío¹³

Para la formación de hidruros es de vital importancia el estado de oxidación del analito, ya que cada uno tiene un estado de oxidación óptimo para la formación de su hidruro correspondiente. Por tal motivo se requiere de una adecuada preparación de la muestra y atención en la reacción química. Los agentes utilizados para el caso del As son el yoduro de potasio (KI) y el borohidruro de sodio (NaBH₄).

En la técnica por generación de vapor frío se requiere de un tratamiento especial de la muestra, como en el caso de generación de hidruros, el cual consiste en una oxidación y estabilización. Ésta técnica se emplea para la determinación de Hg.

La oxidación del mercurio se realiza mediante la digestión de muestra utilizando ácidos fuertemente oxidantes, posteriormente éste requiere ser estabilizado, y se hace mediante la adición de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇). La cuantificación es registrada mediante la comparación de la emisión de luz de la lámpara con y sin la presencia de los átomos de la muestra. Si el elemento traza está presente en la muestra, la absorción de luz estará presente; este cambio será medido y registrado electrónicamente.

Material y equipo (Generador de hidruros y vapor frío)

Espectrofotómetro de absorción atómica

Generador de hidruros: *Varian VGA 77*

Patrón para estándares: *Solutions plus (arsénico y mercurio)*

Vaso deprecitado de 250 ml

Matraz aforado de 50 ml

Pipeta graduada de 25 ml

Pipeta graduada de 20 ml

Pipeta graduada de 10 ml

Micropipeta de 1000 µl

Bureta graduada de 10 ml

Recipientes de plástico de 75 ml

Balanza analítica

Ioduro de potasio (KI) al 2 %: *Baker analyzed*

Borohidruro de sodio (NaBH_4): *Baker analyzed*

Dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) al 1 %: *Baker analyzed*

Ácido nítrico (HNO_3) al 50 %: *Merk*

Ácido clorhídrico (HCl) al 50 %: *Merk*

Agua desionizada

Método

Determinación de arsénico: Se toman 25 ml de la muestra digerida, y se le agrega 1 ml de ioduro de potasio, 5 ml de ácido clorhídrico y se afora con agua desionizada a 50 ml. La lectura se realiza contra blanco de reactivos y con la curva de calibración correspondiente, además de borohidruro de sodio para la formación de hidruros ¹³.

Determinación de mercurio: Se toman 25 ml de la muestra digerida, a esta se le agrega 5 ml de dicromato de potasio, 5 ml de ácido nítrico al 50 %, y se afora a 50 ml con agua desionizada. Para la lectura se utiliza el blanco de reactivos y curva de calibración correspondiente ^{6, 7, 13, 35, 38}.

A los resultados obtenidos se les realizó análisis estadístico descriptivo, así como un análisis de varianza y la prueba de *Tukey* ^{28, 32}.

RESULTADOS

Valores obtenidos

Los valores obtenidos de los análisis realizados se conjuntaron para obtener sus promedios para cada elemento y cada tejido; la Tabla 3 ilustra de manera resumida estos resultados.

Por los requerimientos planteados para cada elemento de los análisis se distribuyeron en las tres técnicas citadas anteriormente. El zinc y el cromo fueron determinados por flama, con un límite mínimo de detección confiable de 0.4 y 2 ppm respectivamente. Las determinaciones de arsénico y mercurio fueron realizadas por la técnica de generador de hidruros y vapor frío, teniendo un límite mínimo de detección de 0.5 y 0.2 ppb para cada uno de ellos. Para el caso del plomo cobre y cadmio, se realizaron sus determinaciones mediante horno de grafito, con un límite de detección de 2.0, 2.5, 0.25 ppb respectivamente ^{13, 36, 59}.

Los valores son reportados tanto en partes por millón como en partes por billón (1ppm = 1000 ppb), ya que es la forma como se encuentran citados en la bibliografía, y de manera unificada en ppb en la tabla de resumen (Tabla 3) para facilitar el manejo de éstos.

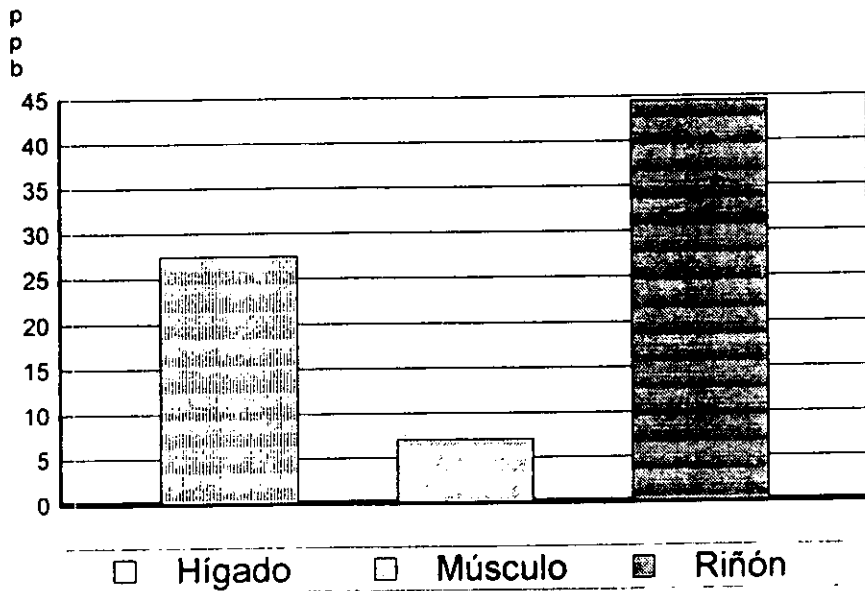
TABLA 3: Valores promedio de los diferentes metales encontrados en tejidos de carpa de la Laguna de Zumpango

	Arsénico (As) ppb	Cadmio (Cd) ppb	Cromo (Cr) ppm	Cobre (Cu) ppb	Mercurio (Hg) ppb	Plomo (Pb) ppb	Zinc (Zn) ppm
Hígado	27.43	41.430	0.000	149.95	84.148	0.000	829.21
Músculo	7.06	47.083	0.000	591.19	83.930	1916.44	8.67
Riñón	44.51	104.502	0.000	907.17	12.368	0.000	396.73

Arsénico

En el caso de arsénico se obtuvo un valor de 7.06 ppb en músculo con una desviación estándar de 0.04, en hígado fue de 27.43 ppb como media y con desviación estándar de 0.15, y en riñón se obtuvo como media 44.51 ppb y una desviación estándar de 0.28 (Fig. 2).

FIGURA 2: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de Arsénico en diversos tejidos de carpas

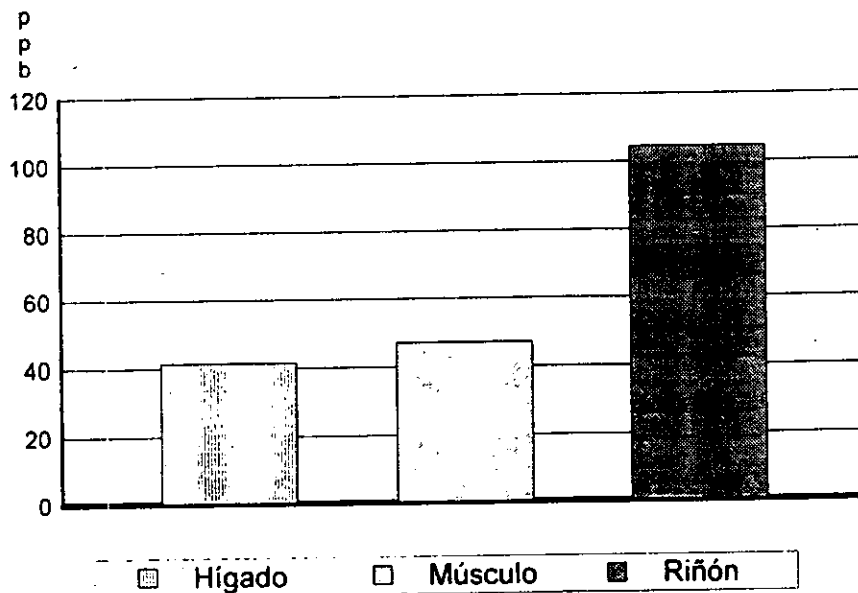


Limite permisible para consumo en músculo: 5 ppb

Cadmio

El cadmio tuvo como media 47.08 ppb en músculo, 41.43 ppb en hígado y 104.50 ppb en riñón. La desviación estándar de cada uno de estos fue de 0.299, 0.138 y 0.41 respectivamente (Fig. 3).

FIGURA 3: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de Cadmio en diversos tejidos de carpas



Limite permisible para consumo en músculo: 20 ppb

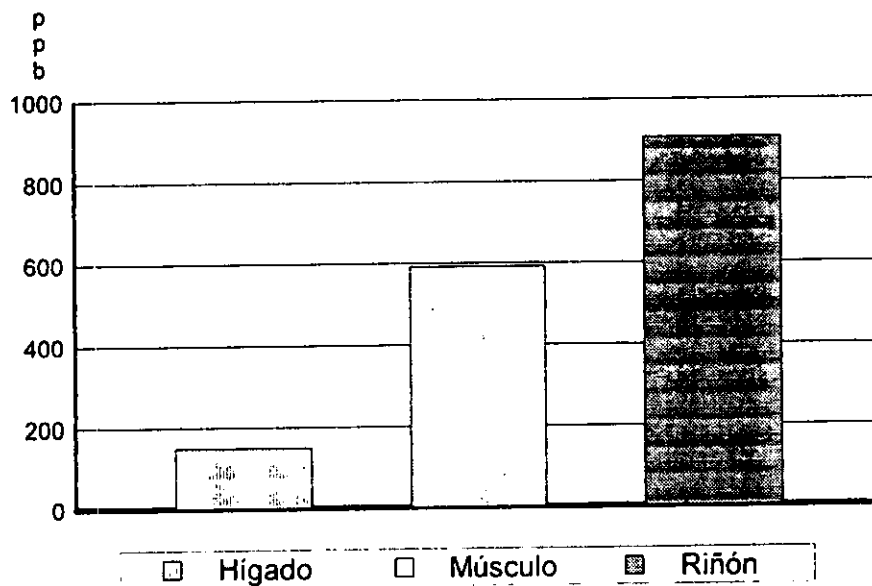
Cromo

No se encontraron niveles de cromo detectables por el equipo.

Cobre

Los niveles de cobre localizados en músculo fueron de 591.19 ppb, 149.95 ppb para hígado y 907.17 ppb en riñón. La desviación estándar fue de 3.74, 1.20 y 4.95 respectivamente (Fig. 4).

FIGURA 4: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de Cobre en diversos tejidos de carpas

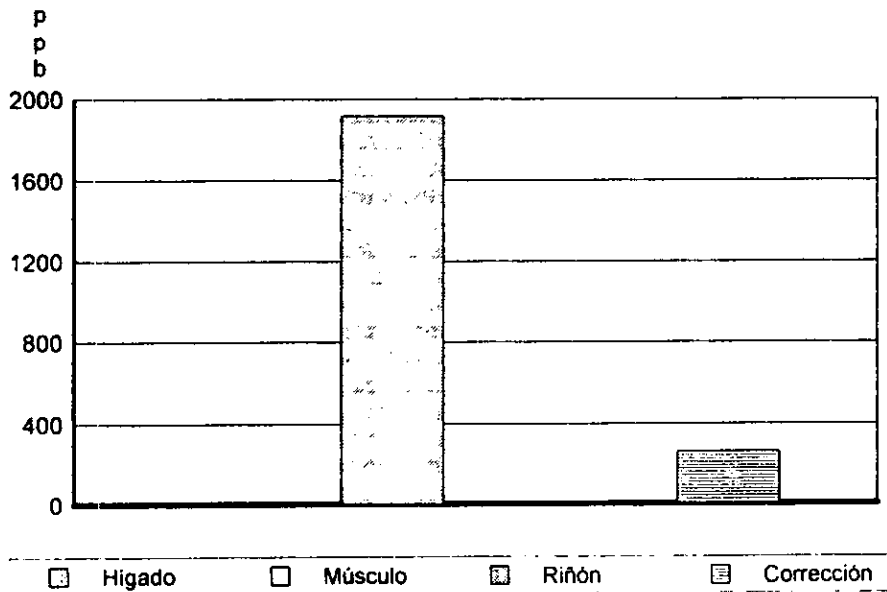


Límite permisible para consumo en músculo: 2000 ppb (2 ppm)

Plomo

Entre los elementos de mayor importancia como lo es el plomo, sólo se detectó en el caso de músculo, encontrándose 1916.44 ppb, con una desviación estándar de 12.38 (Fig. 5).

FIGURA 5: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de Plomo en diversos tejidos de carpas

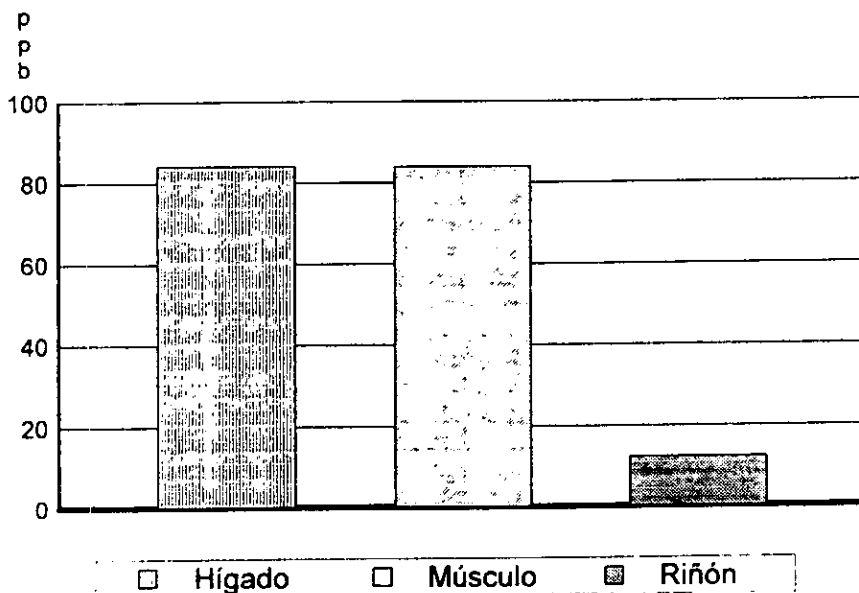


Límite permisible para consumo en músculo: 500 ppb (0.5 ppm)

Mercurio

El mercurio se encontró en músculo con un valor de 83.93 ppb, en hígado de 84.938 ppb y riñón con 12.368. La desviación estándar de cada uno de estos fue de 0.63, 0.87 y 0.17 respectivamente (Fig. 6).

FIGURA 6: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de Mercurio en diversos tejidos de carpas

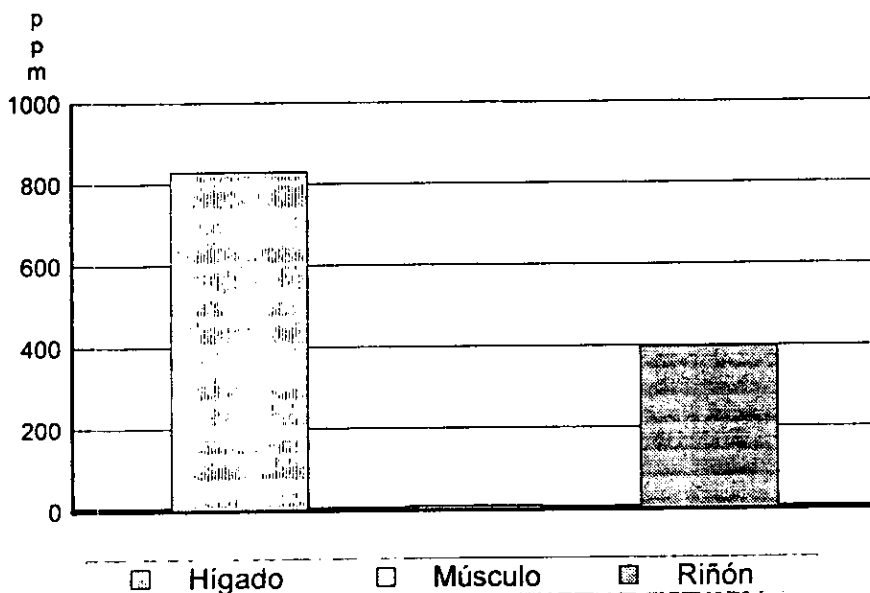


Límite permisible para consumo en músculo: 500 ppb (0.5 ppm)

Zinc

Por último, el zinc se ubico en 8.67 ppm en músculo, 829.21 ppm en hígado y 396.73 ppm en riñón. La desviación estándar de cada uno de estos fue de 0.02, 3.17 y 1.93 respectivamente (Fig. 7).

FIGURA 7: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de Zinc en diversos tejidos de carpas



Limite permisible para consumo en músculo: 21 ppm

Los resultados por tejidos señalan para músculo al zinc, plomo y cobre como los elementos más abundantes, seguidos por mercurio, cadmio y arsénico (Fig. 8).

En el caso de hígado se observó mayores concentraciones de zinc, cobre, mercurio y arsénico, y sin detectarse plomo, cadmio y cromo (Fig. 9). En riñón se observaron al zinc, cobre, cadmio, arsénico y mercurio en orden de mayor a menor concentración (Fig. 10).

FIGURA 8: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de diversos metales en Músculo de carpas

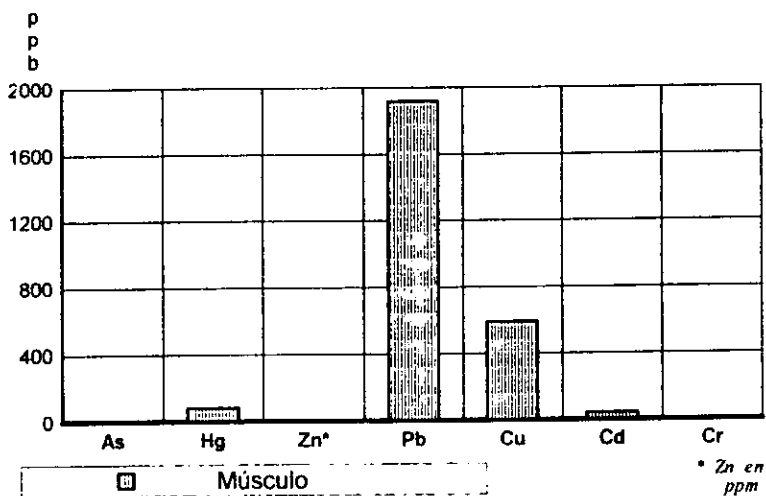


FIGURA 9: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de diversos metales en Hígado de carpas

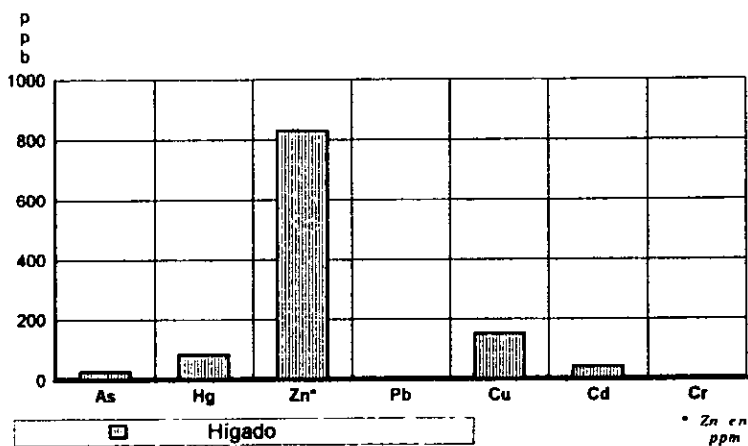
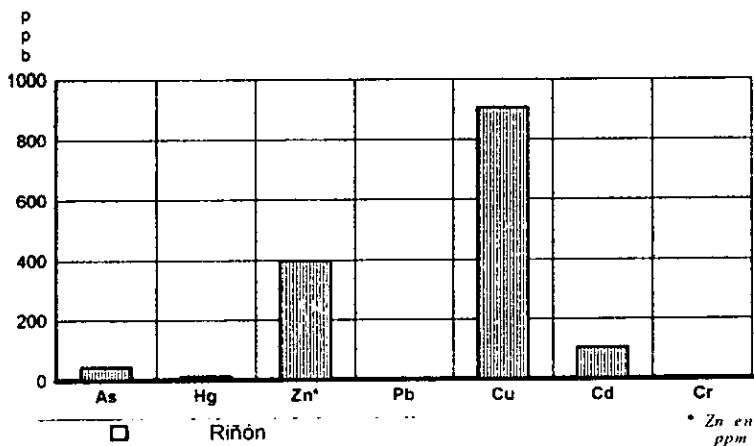


FIGURA 10: Promedio de los resultados obtenidos para la determinación de diversos metales en Riñón de carpas



Análisis de resultados

A partir de los 630 valores obtenidos se realizó un análisis de varianza, empleando el programa *PFSS para Microsoft Windows versión 5*, con la finalidad de verificar la variación entre tejidos y entre elementos. Se requirió hacer transformaciones a los valores debido a la cantidad de "valores cero" en los resultados; por lo tanto, se aplicó la siguiente fórmula³²:

$$x = \sqrt{x' + 1/2}$$

Donde:

X' = valor original

X = valor transformado

Con la transformación hecha a los valores, se obtuvieron los siguientes resultados:

Fuente de variación	Grado de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de F	Significancia de F
Efectos Principales	7	68078.409	9725.487	95.217	0.000
Elementos	5	68078.240	13615.648	133.304	0.000
Tejidos	2	0.168	0.084	0.001	0.999

Con estos valores se entiende que para el factor de los elementos hay alta significancia, y por otra parte no hay significancia en el factor de tejidos. Lo anterior nos dice que el comportamiento de los elementos no es dependiente uno del otro; esto es, no se manifiesta una igualdad entre ellos de manera significativa (Fig. 11). Se encuentra una mayor similitud entre el aumento de las medias de plomo y cobre (elementos 4 y 5 respectivamente) en relación a los otros cuatro elementos

incluidos en el análisis de varianza (arsénico, mercurio, cadmio y zinc). En el caso de los tejidos, se observa que la distribución de los elementos en cada uno de estos es similar, aumentando o disminuyendo cada uno de éstos en la misma forma, por lo que se concluye que son iguales (Fig. 12).

FIGURA 11: Resultados del análisis de varianza por Elemento

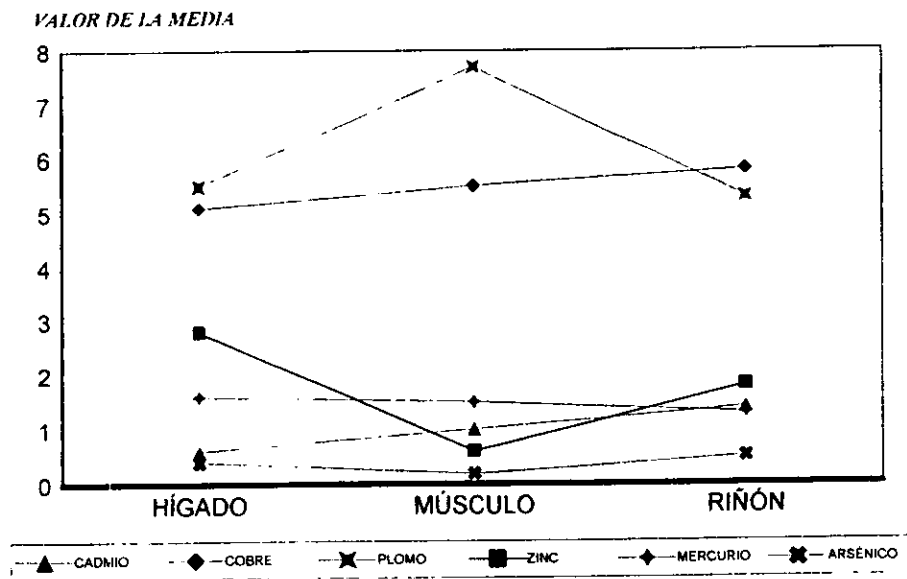
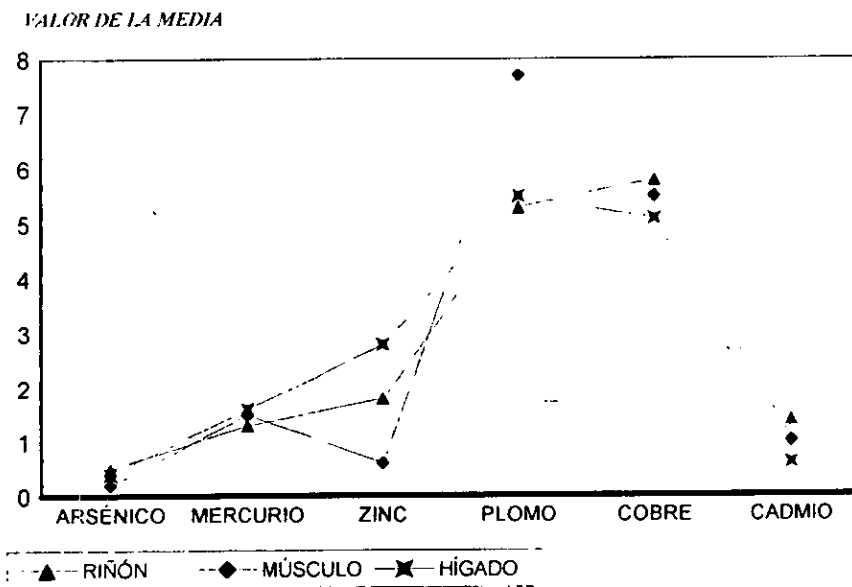


FIGURA 12: Resultados del análisis de varianza por Tejido



Complementando lo anterior se realizó la prueba de *Turkey-HSD* con nivel de significancia de 0.05. Los resultados corroboraron el análisis de varianza; los grupos de significancia correspondieron a los de los elementos en la agrupación de datos, mostrando a su vez que en los grupos correspondientes a tejidos no había significancia^{32, 50}.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos muestran que en la mayoría de los metales no se rebasó los niveles permisibles para consumo humano, pero en algunos casos las concentraciones detectadas se encontraron en niveles de toxicidad. Por otro lado, la mayoría de la distribución de los metales en los distintos tejidos analizados coinciden con reportes realizados en carpas, diferentes especies piscícolas y otras especies de animales domésticos.

Los valores reportados en la Tabla 4 son el resumen de la consulta bibliográfica de estudios realizados en peces, donde casi en su totalidad los límites son mencionados en músculo. Cabe mencionar que existen controversias en cuanto a las recomendaciones para establecer los límites tolerables, ya que dichos límites llegan a variar de acuerdo al criterio localista o regional a nivel mundial. Se consideró importante comparar los resultados en tejidos con estudios realizados en otras especies piscícolas y domésticas para poder completar un marco de comparación en los tres tejidos analizados, y por esa razón se incluyen esos valores reportados en la Tabla 4. Debe considerarse además la importancia particular de cada elemento para cada especie, lo cual explica la ausencia de valores en distintos tejidos.

Arsénico

En el caso de arsénico se obtuvo un valor de 7.06 ppb en músculo, el cual se encuentra ligeramente por arriba de los límites permisibles recomendados de 5 ppb, y así mismo en el caso de hígado de 27.43 ppb y riñón de 44.51 ppb (Fig. 2). La distribución en los tejidos es similar a estudios realizados anteriormente, en donde se menciona que hígado y riñón son órganos donde la acumulación de arsénico es mayor ^{4, 54}.

Cadmio

El cadmio se ubicó por encima del límite permisible de 20 ppb, detectándose 47.08 ppb en músculo, 41.43 ppb en hígado y 104.50 ppb en riñón (Fig. 3). Se debe considerar el origen de este contaminante, ya que no sólo pudiese provenir de los desechos industriales vertidos en el agua, se debe tomar en cuenta la concentración normal del suelo de la región, ya que en estudios realizados en Apaxco, Edo. de México, se mencionan concentraciones altas de hasta 11 ppm ⁴². La distribución en los tejidos correspondieron a estudios realizados con anterioridad ^{4, 54, 64}. Debido a lo anterior, se sugiere tener especial cuidado en el consumo de carpa de la laguna, monitoreando constantemente los niveles en los diferentes tejidos.

Cromo

A este elemento, como a los otros, se realizaron las determinaciones por la técnica de flama en la cual se tienen límites de detección de 2 ppm. en los análisis no se encontraron niveles de cromo detectables por el equipo, lo cual indica que sus concentraciones en los tres tejidos fueron menores al límite de detección. Lo anterior no implica que no se esté excediendo el límite recomendado de hasta 1 ppm, pero por dificultades técnicas no se pudieron realizar nuevas determinaciones por horno de grafito como en los otros elementos que así lo requirieron.

Cobre

Los niveles de cobre localizados en músculo fueron de 591.19 ppb, 149.95 ppb para hígado y 907.17 ppb en riñón, encontrándose por debajo de lo permisible de 2 ppm (Fig. 4). Estos resultados corroboran lo mencionado en bibliografía consultada en cuanto a la aptencia del metal por los deferentes órganos, pero otros autores reportan niveles significativamente más altos en hígado que en riñón y músculo de cabras y ovejas, además de que también se emplea al hígado como matriz biológica rutinaria para pruebas de determinación de cobre ^{4, 30, 34, 69, 73}. Hay

que recordar que el cobre, como en el caso de la mayoría de los metales pesados, las diferentes especies manifiestan una marcada diferencia para tolerar altos niveles de cobre, siendo los menos tolerantes los rumiantes ²⁸.

Plomo

Entre los elementos de mayor importancia como lo es el plomo, sólo se detecto en el caso de músculo, encontrándose 1916.44 ppb (1.91644 ppm), lo cual rebasa el límite de 0.5 ppm (Fig. 5). Este resultado indica que existen niveles de toxicidad en músculo, sin embargo es de llamar la atención la desviación estándar de 12.38. Este dato nos señala una elevada diferencia en los resultados, y revisando la lista de resultados de este elemento se observa una gran diferencia en las concentraciones registradas de la serie de los primeros tres muestreos con respecto a los demás. Se puede suponer la existencia de errores en el manejo de las muestras; los errores de dilución quedan descartados al no observarse el mismo problema en los otros elementos ya que todos se obtuvieron de la misma dilución. Una de las posibilidades más factibles de este resultado es la posible contaminación del tejido muscular con tejido óseo, y esto es posible en cuanto a que se trata de las primeras muestras en las cuales la falta de experiencia en la toma y homogeneizado del tejido muscular y, bien se pudo mezclar en los cortes pequeñas cantidades de hueso. Con ésta probable contaminación se puede explicar el porque de esos niveles tan diferentes de los primeros tres muestreos, ya que como se sabe el tejido óseo es blanco en la acumulación del plomo en el organismo ^{3, 22, 44, 46}. Realizando una "corrección por sustitución" de los resultados (repitiendo lecturas del cuarto muestreo en adelante) se obtuvo una media de 260 ppb de plomo en músculo con una desviación estándar de 2.43. Este resultado como se puede observar indica que el plomo está por debajo del límite permisible, y su desviación estándar indica la homogeneidad de los análisis. Sin embargo, no se puede descartar el error por efecto del cálculo matemático al momento de multiplicarse los resultados por el factor de dilución de la muestra, factor que evidentemente magnificaría la mínima diferencia que pudiese existir en los resultados. La controversia de este resultado

debe tomarse en cuenta en futuros estudios del metal en la Laguna de Zumpango. La medición de plomo en hueso sería de igual forma recomendable, ya que cuando se produce harina de pescado se incluyen todos los tejidos.

Mercurio

El mercurio se encontró en músculo con un valor de 83.93 ppb, en hígado de 84.938 ppb y riñón con 12.368. Ninguno de los valores se ubicaron por arriba del límite tolerable de 0.5 a 1 ppm (Fig. 6). Estudios realizados previamente en tilapia coinciden proporcionalmente con la distribución tisular^{54, 68}.

Zinc

Por último, el zinc se ubicó en 8.67 ppm en músculo, 829.21 ppm en hígado y 396.73 ppm en riñón. El músculo se encontró dentro del límite de 21 ppm, no así en el caso de hígado y riñón (Fig. 7). Es importante mencionar que el límite referido es precisamente en músculo. En el caso de hígado se sugiere una concentración de 203 ppm, la cual es excedida claramente. Para el caso del riñón se manejan 123 ppm en el caso de ovejas, pero como en los casos anteriores se debe considerar las diferencias de las concentraciones encontradas por especie. Cabe mencionar que la distribución en los tejidos coincide proporcionalmente con estudios realizados anteriormente^{4, 34}.

Los valores reportados como cero en cada caso, no indican de manera definitiva la ausencia total del elemento, nos dicen que las concentraciones podrían estar por debajo de dichos límites de detección^{13, 36, 59, 69}.

Estos resultados muestran niveles por arriba de lo permitido de plomo en músculo, cadmio en los tres tejidos, arsénico en los tres tejidos y zinc en hígado y riñón. Entre estos resultados destacan por su nivel detectado y por su toxicidad el plomo y el cadmio, los cuales se encuentran ubicados como elementos altamente tóxicos. El caso del arsénico muestra niveles ligeramente por arriba de lo permisible

en el caso de músculo, no así en hígado y riñón. El tejido de consumo en este caso es sólo el músculo, lo que le da relevancia en salud pública al nivel encontrado. Pero es de llamar la atención los niveles detectados en los otros tejidos en el aspecto de la salud del pez. En el caso del zinc pasa algo similar; los niveles en músculo están dentro de lo especificado, encontrando valores relativamente muy superiores a los de músculo.

La distribución en los tejidos nos indica que en el caso de las carpas la mayoría de los metales cumplen con la distribución citada en la bibliografía (Tabla 4). Las excepciones se observaron en plomo, al no detectarse concentraciones cercanas a las de músculo para los casos de hígado y riñón.

La interpretación en conjunto de los metales encontrados nos manifiestan especial atención en Salud Pública, para los casos de plomo, cadmio arsénico detectados en músculo. Como es entendido, éste es el tejido de consumo en el caso particular de la población involucrada de este estudio. Los niveles detectados en hígado y riñón que se encontraron por arriba de lo permitido muestran el comportamiento de los diferentes tóxicos en el organismo del pez, señalando que los elementos en cuestión (As y Zn) son absorbidos, sin alcanzar niveles de alarma en músculo. Sin embargo los niveles encontrados en estos tejidos sugieren que no se pierda de vista el seguimiento de dichos tóxicos en futuros estudios.

Tomando en cuenta las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud y reportes de trabajos relacionados, las concentraciones detectadas en todos los casos anteriores no son causantes de enfermedad aguda, pero los niveles detectados ameritan puntualizar algunas consideraciones. Es de importancia mencionar que aún en los casos en los que se obtuvieron concentraciones dentro de los límites permisibles, existen factores a considerar que dependen incluso de el consumo de dosis mínimas de los metales, y en especial del mismo cadmio, plomo, cromo y arsénico. Además, un factor muy interesante es lo relacionado con la presentación del metal, la forma en que es ingerida por los seres vivos. En la actualidad es estudiado en distintos campos de la ciencia lo que se denomina especiación de metales, con lo que no sólo se intenta determinar la concentración

del tóxico, si no que también se trata de identificar su presentación química, la cual determina la biodisposición y así mismo su toxicidad. Aunado a esto hay que considerar el factor de bioacumulación de los metales, los cuales al ser retenidos en los organismos vivos pueden llegar a desarrollar con el tiempo intoxicación crónica o efectos como la disminución del promedio de vida, aumento de lesiones físicas por debilitamiento de tejidos motores y el efecto carcinogénico discutido e investigado en la actualidad ^{10, 17, 21, 22, 49, 72}.

Para la valoración de los factores mencionados, se puede sugerir la aplicación de bioensayos acuáticos ya que sus resultados podrían contribuir con los estudios toxicológicos realizados. La aplicación de bioensayos se considera casi rutinaria en los países desarrollados y es una medida indicadora de la factibilidad de vida en un cuerpo de agua, con una sensibilidad tal que asegura detectar condiciones tóxicas aún sin identificar al tóxico ^{25, 38, 39, 53}.

TABLA 4: Recopilación bibliográfica de los niveles encontrados de metales pesados

		METALES PESADOS						
		Niveles permisibles y tóxicos						
METAL	DOISIS TÓXICA mg/Kg	NIVELES EN DIFERENTES ÓRGANOS / ppm						
		Músculo		Hígado		Riñón		
		Permit.	Tóxico	Permit.	Tóxico	Permit.	Tóxico	
CARPA	As	5.5n	5 ppb	43 ppb	98 ppb			
	Cd	5	0.02	10				
	Cr		2				3	
	Cu	0.33M		0.6				
	Hg		0.5					
	Pb	6	0.5					
	Zn		21	?	203	?		
CANINO	As							
	Cd							
	Cr							
	Cu							
	Hg	200		0.15		0.3		2.75
	Pb	20			1	27	0.81	
	Zn							
BOVINO	As	35.7 ppm				14		13.3
	Cd							
	Cr	35						
	Cu	200			103 ps			
	Hg	20						
	Pb	700		0.1	1.6	43	1.8	63
	Zn				135	2000	185	670
PEQUEÑOS RUMIANTES	As			4.81		7.32		8.64
	Cd			0.57		4.26		3.94
	Cr							
	Cu	20	2.34		19.83	150	3.85	30
	Hg	70						
	Pb			1.66	0.72	13	0.72	4.69
	Zn		58.2		58.02	157.29	40.04	123.7
EQUINO	As							
	Cd							
	Cr							
	Cu							
	Hg	15						
	Pb				0.82	100	0.93	183
	Zn							
HUMANO	As		0.26		0.24-0.92		0.36-0.68	
	Cd							
	Cr							
	Cu				0.23			
	Hg		0.15		0.3		2.75	
	Pb							
	Zn				0.53			
AGUA	As							
	Cd				3 ppb	0.4 ppb		
	Cr	0.5 ppm						
	Cu	0.1 ppm	x lc50	del agua				
	Hg	0.05 ppm						
	Pb	0.03 ppm						
	Zn	0.05	dc50	del agua				

Tomado y adaptado de 4, 10, 12, 27, 32, 33, 36, 63, 68 y 72.

CONCLUSIONES

Tomando en consideración los límites permisibles en los distintos tejidos analizados, las técnicas montadas cumplieron con las necesidades para cada metal, con la excepción del cromo. Por esta razón, se requiere revisar el equipo y el método, hasta su optimización para el caso específico del cromo. Por lo tanto, se plantea la necesidad de limitar temporalmente las determinaciones de dicho elemento a los casos en los que pudiese ser de utilidad; determinaciones que no sean inferiores a 2 ppm.

En este estudio se encontraron en los tejidos de carpa de la Laguna de Zumpango concentraciones de arsénico de 7.06 ppb en músculo, 27.43 ppb en hígado, 44.51 ppb en riñón; para el caso de cadmio, concentraciones de 47.08 ppb en músculo, 41.43 ppb en hígado, 104.50 ppb en riñón; cobre con 591.19 ppb en músculo, 149.95 ppb en hígado, 907.17 ppb en riñón; plomo con 260 ppb en músculo; para mercurio, valores de 83.93 ppb en músculo, 84.93 ppb en hígado, 12.36 en riñón; y finalmente zinc, con 8.67 ppm en musculo, 829.21 ppm en hígado y 396.73 ppm en riñón.

Los resultados obtenidos en las determinaciones de plomo, cadmio y arsénico sugieren tomar precauciones en el consumo de la carne de pescado debido a sus concentraciones. El consumo gradual podría ser causa de enfermedad crónica por alguno de estos elementos, por lo que la continuación de estudios como éste podrían definir las medidas a seguir.

Este trabajo contribuye, por otra parte, con datos básicos concernientes a la concentración de metales pesados en la población de carpas de la laguna de Zumpango, los datos permitirán el seguimiento y monitoreo de éstos para observar su comportamiento.

Con base a lo anterior se hace la siguiente recomendación:

Para el monitoreo se deberá considerar que la laguna es un cuerpo de agua físicamente cinético, dependiente de las condiciones medioambientales; recepción de desechos, la lluvia, insolación, turbulencia eólica, así como modificaciones en la flora y fauna del lugar. Los estudios de monitoreo deben contemplarse de tal manera que se observe el comportamiento del cuerpo de agua en los periodos de lluvia y de secas, contemplando los análisis no solo en carpas, sino que también en agua, sedimentos y lirio acuático; así como realización de bioensayos acuáticos.

LITERATURA CITADA

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

1. Alvarez, V. J.: Claves para la determinación de especies de las aguas continentales Mexicanas, *Dirección General de Pesca*, Méx. D. F. 1979.
2. Averitt, D.W. and Wallace, G.F.: Investigation into the validity of using ICP-MS with microwave dissolution for the analysis of phosphatic fertilizers and animal feedstuffs, *Atomic Spectroscopy*, 13: 7-10 (1992).
3. Beritic, T.: A comparison of concentrations of lead in human tissues, *J. Ind. Med.* 32: 119-139 (1972).
4. Bires. J., Maracek, I. and Biresova, M.: Accumulation of trace elements in sheep and the effects upon qualitative and quantitative ovarian changes, *Vet. Human. Toxicol.*, 37: 349-355 (1995).
5. Botello, A.: La contaminación en el mar, *Ciencia y desarrollo*, 43: 91-101 (1982).
6. Burguera, J.L., Matousek, A. and Alarcón, O.M.: Microwave-aided micro-dissolution of biological samples prior to flow injection-atomic absorption spectrometry, *Atomic Spectroscopy*, 13: 67-71 (1992).
7. Campos, R.C.: Cobalt determination in bovine liver by GFAAS: testing two acid digestion procedures and different modifiers, *Atomic Spectroscopy*, 14: 71-75 (1993).
8. Carson, B. L., Ellis, H. V., and McCann, J. L.: Toxicology and Biological Monitoring of Metals in Human, *Lewis Publishers, Inc.* Michigan, 1991.
9. CEM. : Microwave Digestion For Preparation of atomic Absorption and Emission Samples, *CEM Corporation*, 1995.
10. Clarkson, M.: Advances in Forensic and Clinical Toxicology, *Academi Press, Inc.* Londonn, New York, 1993.
11. Couto, R.: Toxicología Veterinaria, 2ª ed. *Salvat*, Barcelona, 1989.
12. Crisponi, G., Nurchi, V., Parodo G.: Critical evaluation of analytical procedures for trace-element determination in human liver using ICP-OES, *Atomic Spectroscopy*, March/April: 73-78 (1995).
13. Curso de Espectrofotometría de Absorción Atómica: Memorias, FESC. UNAM, Edo, de México, Mayo de 1996.
14. Diario oficial.: Acuerdo por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. *Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología*, diciembre 13 de 1989. 7-23.
15. Gaceta Ecológica. 26-39, Gerencia del Estado de México, Enero, 1990.

16. Gaceta Ecológica. Hypertexto, ficha técnica, Gerencia del Estado de México, Diciembre, 1989.
17. Galvão, L. A., Corey, G.: Arsénico: serie vigilancia. *Centro Panamericano de Vigilancia de Ecología Humana y Salud*. Metepec, Edo. de México, 1994.
18. Galvão, L. A., Corey, G.: Cadmio: serie vigilancia. *Centro Panamericano de Vigilancia de Ecología Humana y Salud*. Metepec, Edo. de México, 1994.
19. Galvão, L. A., Corey, G.: Cobre: serie vigilancia. *Centro Panamericano de Vigilancia de Ecología Humana y Salud*. Metepec, Edo. de México, 1994.
20. Galvão, L. A., Corey, G.: Cromo: serie vigilancia. *Centro Panamericano de Vigilancia de Ecología Humana y Salud*. Metepec, Edo. de México, 1994.
21. Galvão, L. A., Corey, G.: Mercurio: serie vigilancia. *Centro Panamericano de Vigilancia de Ecología Humana y Salud*. Metepec, Edo. de México, 1994.
22. Galvão, L. A., Corey, G.: Plomo: serie vigilancia. *Centro Panamericano de Vigilancia de Ecología Humana y Salud*. Metepec, Edo. de México, 1994.
23. Gerencia de Calidad del Agua, Sistema Nacional de Información de Calidad del Agua, Informe de resultados, Abril, 1995.
24. Dwivedi, S.K., Dey, S. and Swarup, D.: Lead in blood and milk from urban indian cattle and buffalo, *Vet. Human. Toxicol.*, 37: 471-472 (1995).
25. Gutierrez, T.: Efectos tóxicos de hidrocarburos, metales pesados, plaguicidas y detergentes sobre bacterias, *Tercer curso internacional de toxicología acuática*, ENCB. IPN. México, 1994.
26. Haneef, S.S. and Swarup, D.: The effect of current lead and chromium exposure on the cell-mediated immune response in goats, *Vet. Human. Toxicol.*, 37: 428-429 (1995).
27. Hopher, B., Pruginin, Y.: El Cultivo de Peces Comerciales, *Limusa*, México, 1986.
28. Hernández, S. R.: Metodología de la Investigación, edit. *McGraw Hill*, México, 1994.
29. Humphreys, D. J.: Toxicología Veterinaria, tercera ed., edit. *Interamericana - McGraw Hill*, España, 1990.
30. Humphreys, D. J.: Veterinary Toxicology, ed. *Baiee Tindall*, London, England, 1988.
31. INEGI, SEPESCA, 4.1.4 PESCA, 1994.
32. Kelley, W. D., Rattliff, T. A. And Nenadic, C.: Basic Statistics for Laboratories, ed. *Van Nostrand Reinheld*, New York, 1992.
33. Khan, A., Forester, D.M. and Mielke, H.W.: Heavy metal concentrations in two population of crayfish, *Vet. Human. Toxicol.*, 37: 426-428 (1995).
34. Khan, A., Forester, D.M. and Mielke, H.W.: Trace element concentration in tissues of goats from Alabama, *Vet. Human. Toxicol.*, 37: 327-328 (1995).

35. Kingston, H. M. and Jessie, L. B.: Introduction to Microwave Sample preparation: Theory and Practice, A.C.S. Profesional Reference Book, Washington, D. C. 1988.
36. Koirtzohann, S.R. and Yates, D.A.: Determination of major, minor, and trace elements in NIST biological reference materials, *Atomic Spectroscopy*, 15: 167-169 (1994).
37. Littau, S.E.: Digestión de Muestras por Tecnología de Microondas, Curso: ENCB-CEM-Co. México, D.F. Enero de 1995.
38. Lippo, H and Särkelä, A.: Microwave dissolution method for the determination of heavy metals in biomonitors using GFAAS and flame AAS, *Atomic Spectroscopy*, July/August: 154-157 (1995).
39. Martínez, F.J.: La importancia de los bioensayos en la evaluación de la toxicidad acuática, *Universidad: Ciencia y Tecnología*, 1: 37-44 (1991).
40. Martínez, L. T.: Toxicología Acuática, Toxicología de los Contaminantes Ambientales, FES-C, 1995.
41. Mateos, R.: Biología Acuática, Piscicultura en México, *Serie de materiales didácticos en ciencia y tecnología del mar*, SEP, México, 1976.
42. Membrillo, E.: Determinación de metales pesados en agua, sedimento, forraje y alimento concentrado en Apaxco Estado de México. Tesis licenciatura: *Fac. de Med. Vet. y Zoot. UNAM*. México, 1994.
43. Mertz, W.: Trace Elements in Human and Animal Nutrition, fifth edition, vol 1, *Academic Press Inc*. California, 1987.
44. Nichols, T.: Trace Metals and Fluoride in Bones and Teeth, *Biomedicine*, New York, 1992.
45. Ocidiz, R.: Hallazgos histológicos en tilapia sp, derivados de la intoxicación con mercurio por el tratamiento con timerosal (merthiolate) en doce semanas. Tesis licenciatura: *Fac. de Med. Vet. y Zoot. UNAM*. México, 1992.
46. Osweiler, G. D.: Clinical and Diagnostic Veterinary Toxicology, third edition, *Kendall Atunt Publishing Company*, Dubuque, Iowa, 1985.
47. Paez-Ozuna, F., Izaguirre, G. y Godoy, R.: Metales pesados en cuatro organismos filtradores de la región costera de Mazatlán: Técnicas de extracción y niveles de concentración, *Contam. Ambient.* 4: 33-41 (1988).
48. Peterson, D.: Fishing practice and pathology, *American press*, 1994.
49. Plumlee, K. and Gardner, I.A.: Heavy metal concentrations in injured racehorses, *Vet. Human. Toxicol*, 38: 204-205 (1996).
50. Plutchik, R.: Fundamentos de investigación Experimental, segunda ed., edit. HARLA, México, 1975.
51. Porras, D.: Estudio preliminar para la evaluación de charcas temporales. *Revista Latinoamericana de Acuicultura*, Junio: 16-23 (1981).

52. Quintanilla, B. V.: Toxicología de Metales Pesados, Toxicología de Los Contaminantes Ambientales, FES-C, 1995.
53. Radwan, S; Kornijow, H.: Accumulation of heavy metals in a lake ecosystem. *Science of the total Enviroment.* : 121 - 129 (1990).
54. Ramelow, G. J.: Variations of heavy metals and arsenic in fish and other organisms from the Calcasieu River and Lake, Louisiana. *Archives of Enviromental Contamination and Toxicology*, 22: 804 - 818 (1989).
55. Reporte de resultados analíticos. Gerencia de Calidad el Agua: *Sistema Nacional de Información de Calidad del Agua*, abril de 1995.
56. Reyes, G.D.: Concentración de plomo en sangre y pelo de equinos que residen en el Distrito Federal. Tesis licenciatura: *Fac. de Med. Vet. y Zoot. UNAM. México*, 1988.
57. Roberts, R. J.: Patología de los peces, ed. *Mundi - prensa*, Madrid. 1981.
58. Rodríguez, R.: Determinación de mercurio en muestras de leche. Tesis licenciatura: *Fac. de Med. Vet. y Zoot. UNAM. México*, 1980.
59. Rothery, E.: Analytical Methods for Graphite Tube Atomizers, *Variant Australia Pty Ltd*, Victoria, Australia, 1988.
60. Salgado, E.S.: Niveles de cromo en bovinos que pastan a orillas del río Lerma en la zona industrial del valle de Toluca. Tesis de licenciatura: *Fac. de Med. Vet y Zoot. UNAM. México*, 1982.
61. Sandoval, C. C.: Determinación de los Niveles de Plomo en Sangre y Orina, en Cánidos de la Ciudad de México. Tesis licenciatura, *FES-C, UNAM. Edo de México*, 1993.
62. Santos, A.: Determinación de niveles de plomo en sangre de 50 gatos de la Ciudad de México. Tesis licenciatura: *Fac. de Med. Vet. Zoot. UNAM. México*, 1990.
63. Sociedad Ecologica de la Región de los Lagos del Valle de México, Carpeta informativa, A.C., México, 1994.
64. Stolman, A.: Progress in Chemical Toxicology, vol 2, *Academic Press*, New York and London, 1965.
65. Swarup, D.: Lead in blood and milk from urban Indian cattle and buffalo. *Veterinary and Human Toxicology*, 37: 471-473 (1995).
66. Underwood, E. J.: Trace Elements in Human and Animal Nutrition, second edition, *Agricultural Boureaux*, England, 1981.
67. Van den Berg, G.J., Wolterbeek, H.T., De Goeij, J.J. & Beynen, A.C.: Absorption and retention studies of trace elements and minerals in rat using radiotracer and hole-body counting, *Laboratory Animals*, 29: 66-76 (1995).

68. Vazquez, R.: Concentración de mercurio en cuatro órganos de tilapia, *Oreochromis sp*, en tratamiento a largo plazo con timerosal (merthiolate). Tesis licenciatura: *Fac. de Med. Vet. y Zoot. UNAM. México*, 1992.
69. Vidal, M.T. and Lizondo, F.: Determination of Cu and Fe in animal liver samples by flame atomic absorption spectroscopy, *Atomic Spectroscopy*, 11: 75-77 (1990).
70. Villanueva, S., Botello, A. y Paez-Ozuna, F.: Evaluación de algunos metales pesados en organismos del Río Coatzacoalcos y de la Laguna del Ostión, Ver., México, *Contam. Ambien.* 4: 19-31 (1988).
71. Wallance, H. A. : Principles and Methods of Toxicology, second edition, *Raven Press, New York*, 1989.
72. Wailand, J. and Hayes, Jr.: Essays in Toxicology, *Academic Press, Inc. London, New York*, 1973.
73. Zantopoulos, N. and Petsaga, V.: Cooper concentrations in sheep liver and kidney in Greece, *Vet. Human. Toxicol.* 38: 184-185 (1996).