



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE Y HIERRO EN
CARPAS (*Cyprinus carpio*) EN CULTIVOS DEL ESTADO DE MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

PRESENTA:

LUIS MIGUEL ÁLVAREZ VARGAS

ASESORES:

Dr. BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA
Dr. CÉSAR ORTEGA SANTANA
Dr. VALENTE VELÁZQUEZ ORDÓÑEZ

REVISORES:

Dra. Esvieta Tenorio Borroto
M en C. Luis Fernando Vega Castillo



Toluca, México; febrero de 2018

RESUMEN

DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE COBRE Y HIERRO EN CARPAS (*Cyprinus carpio*) EN CULTIVOS DEL ESTADO DE MÉXICO.

Luis Miguel Álvarez Vargas (bajo la dirección del Dr. Benjamín Valladares Carranza,

Dr. César Ortega Santana y Dr. Valente Velázquez Ordóñez).

En los diferentes sistema de producción acuícola es necesario evaluar la situación que tienen algunos elementos minerales, tanto para el aspecto nutricional para la especie cultivada como para la situación nutricional en la dieta de los consumidores. Por lo que con el objeto de determinar la concentración de cobre (Cu) y hierro (Fe) en músculo de carpa común (*Cyprinus carpio*) cultivadas en el Estado de México, se colectaron 180 muestras de tejido muscular durante el examen anatomopatológico que de manera rutinaria se realizó a los peces enviados para diagnóstico al área de sanidad acuícola del CIESA. Cada una de las muestras fue procesada a través de digestión acida con: ácido nítrico y perclórico; se aforaron a 25 mL con agua desionizada y se guardaron en frascos de plástico hasta la lectura de los minerales de interés por espectrofotometría de absorción atómica con la lámpara específica para cada elemento (Cu y Fe). Para el reporte de resultados, se empleó el método descriptivo, y se compararon con los valores de referencia. El promedio general de cobre fue de 5.48 ± 0.49 ppm, con una concentración mínima y máxima de 4.8 y 7.2 ppm, respectivamente. De acuerdo a rangos establecidos en el estudio de la concentración de este mineral, considerando valores de referencia: 148 muestras (82.2%) se ubicaron por debajo del límite normal, 30 (16.6%) en el rango normal, y 2 (1.1%) por arriba del valor normal. Para el caso del hierro, el promedio general fue de 97.84 ± 11.51 , el valor mínimo y máximo fue de 83.9 y 122.8 ppm, respectivamente. De acuerdo a los rangos de concentración establecidos en relación a los valores de referencia: 45 muestras (25%) se ubicaron por debajo del límite normal, 97 (53.8%) se ubican

dentro del parámetro normal, y 38 (21.1%) por arriba del límite establecido como normal.

Palabras clave: Carpa común, músculo, cobre, hierro.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
1.- Carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	3
1.1.- Taxonomía	4
1.2.- Morfología	4
1.3.- Fisiología del aparato digestivo	5
2.- Cultivo de organismos acuáticos	7
2.1.- Sistemas de cultivo de la carpa (<i>Cyprinus carpio</i>)	8
2.1.1.- Sistema extensivo	9
2.1.2.- Sistema semiintensivo	10
2.1.3.- Sistema intensivo	10
3.- Producción de carpa a nivel mundial	11
3.1.- Producción acuícola en Latinoamérica	12
4.- Importancia de los minerales en la alimentación de la carpa	13
5.- Concentración e importancia del cobre y hierro en la producción acuícola	15
5.1.- Cobre y hierro en carpas	17
JUSTIFICACIÓN	21
HIPÓTESIS	22
OBJETIVOS	23
Material de campo	24
MÉTODO	25
Procesamiento de muestras	25
LÍMITE DE ESPACIO	26
LÍMITE DE TIEMPO	27
RESULTADOS Y DISCUSION	28
CONCLUSIONES	36
SUGERENCIA	37
LITERATURA CITADA	38

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Título	Pág.
1	Elementos minerales de importancia en acuicultura.....	15
2	Síntomas de deficiencia mineral en bagre de canal, en carpa común y en tilapia del Nilo, cultivados en estanques.....	15
3	Rangos de concentración de cobre (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.....	29
4	Rangos de concentración de hierro (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Título	Pág.
1	Concentración de cobre (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.....	30
2	Concentración de hierro (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.....	34

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la producción acuícola mundial ha tenido un crecimiento progresivo, alcanzando una mejor producción y tecnificación intensiva de peces, recurso que representan una mayor cantidad de alimento para la población en el mundo; condición que involucra al sector pesquero en innovación tecnológica y de adaptación para satisfacer las necesidades cambiantes del mercado (FAO, 2012).

La acuicultura como actividad multidisciplinaria constituye una empresa productiva que utiliza conocimientos sobre biología, ingeniería, ecología y zootecnia, para ayudar a resolver la problemática mundial en este sector, y según la clase de organismos que se cultivan se ha dividido en varios tipos, uno de los más desarrollados es la piscicultura o cultivo de peces, y dentro de esta área, los peces más utilizados son la tilapia (*Oreochromis sp*) y la carpa (*Cyprinus carpio*) (Saavedra, 2006).

En los diferentes sistemas acuáticos y de producción acuícola el ambiente en que se desarrollan las carpas es determinante, por lo que debe hacerse énfasis en la calidad del agua y los sistemas de alimentación acuícolas (Pérez-Estrada *et al.*, 1998; Maynard, 2001). La calidad del agua debe ser adecuada para la vida de los peces, cuando esto no ocurre predispone a alteraciones de salud o del comportamiento; dentro de los mecanismos de defensa de gran importancia para el pez son las branquias, las cuales realizan la función de regular el intercambio de sales minerales y excreción del amoníaco. El daño a nivel de mucosas o epitelio de las agallas causara impermeabilidad de la piel y el paso de toxinas por agua contaminada (Shepherd y Bromage, 1999).

Los elementos minerales tienen una función primordial a nivel fisiológico y productivo. El cobre (Cu) y hierro (Fe), ejercen un papel importante en el organismo, como cofactores de varias metaloenzimas, por lo que su concentración y biodisponibilidad orgánica requiere de niveles adecuados; niveles de cobre o hierro por arriba de los parámetros normales causan desajustes fisiológicos y por

ende la aparición de patologías o alteraciones en la productividad de las especies acuícolas como la carpa (Pérez-Estrada *et al.*, 1998; Maynard, 2001).

El objetivo del presente trabajo es determinar y valorar la concentración de Cu y Fe en carpas (*Cyprinus carpio*) cultivadas en el Estado de México, que permitan en su caso emitir recomendaciones o medidas necesarias en el proceso de producción de esta especie piscícola, tanto para condiciones de salud animal como de inocuidad alimentaria.

REVISIÓN DE LITERATURA

La piscicultura, desde su origen benefició y abasteció a la humanidad, quien consumió proteína de origen animal más barata y de fácil producción, en comparación a las carnes rojas que son de mayor costo. Con el paso del tiempo se empiezan a conocer las diferentes especies de peces que se cultivan y producen por el hombre, entre los peces más conocidos se encuentran las carpas (*Cyprinus carpio*), caracterizándola por orden morfológico para su fácil identificación, en este caso, la taxonomía; con el paso de los años y aun en la actualidad se sigue estudiando y actualizando información en cuanto a familia o género, y también para mejorar su rendimiento en producción, para producirlas de manera más eficiente y poder abastecer a la humanidad de un alimento de alta calidad proteica (Huet, 1998; Saveedra, 2006).

1.- Carpa (*Cyprinus carpio*)

La carpa común (*Cyprinus carpio*), ha sido considerada una de las especies piscícolas más populares a nivel mundial; originaria de Asia donde se cultiva desde hace siglos, dicha actividad se realizaba desde el año 475 a.C. La reproducción de la carpa en China fue descrita por Fan-Li, quien la considero como un negocio ventajoso en el primer tratado conocido sobre acuicultura; la carpa se introdujo por primera vez en Norteamérica a mediados del siglo XIX y posteriormente se extendió en arroyos y lagos (Bardach *et al.*, 1990).

La carpa es una de las pocas especies que puede ser considerada como doméstica, aunque, hay una considerable diferencia entre la domesticación y su relación silvestre (de la que fueron criadas originalmente), respecto a la capacidad de reproducción y utilización de alimentos; está cubierta de escamas y crece lentamente; la forma domesticada utiliza alimento artificial a base de cereales y alimento natural propiciando un rápido crecimiento; la palatabilidad de la carpa es alta, goza de una gran demanda en el mercado en la mayoría de los países del

este de Europa, Asia oriental, Reino Unido, EUA y otros países occidentales (Horváth *et al.*, 2002).

1.1.- Taxonomía

La carpa común (*Cyprinus carpio*) pertenece al reino: Metazoa, el subreino: Eumetazoa, de la rama Bilateria; grado: Coelomata, de serie Deuterostomia; Phylum: Chordata y subphylum: Gnathostomata; la superclase: Peces, de clase: Actinopterygii, de subclase: Teleostei; superorden: Ostariophysi, del orden: Cypriniformes; superfamilia: Cyprinoidea, de la familia: Cyprinidae, y subfamilia: Cyprininae; género: *Cyprinus*, y de la especie: *carpio* (Hepher y Pruginin, 1991).

1.2.- Morfología

La carpa (*Cyprinus carpio*), principal ciprínido de cultivo en Europa, es una especie omnívora que puede vivir varios años, su aleta dorsal es única, alargada, de tres o cuatro radios simples, el último de los cuales es grueso y denticulado, y de 17 a 22 radios ramificados. Su boca es terminal y posee unos labios gruesos que pueden ser proyectados hacia adelante (Huet, 1998). El color del dorso de la carpa común es verdoso olivo y su vientre amarillo; según el sitio en donde se alojan, pueden ser doradas brillantes si son de río o pardas si son de estanque. Con sus barbas selecciona su comida para engullirla con su boca y sus dientes faríngeos, estos últimos no se ubican en la boca, sino en la parte superior del esófago (Secretaría de Pesca, 1986). Con respecto a la disposición de las escamas, existen cuatro variedades diferentes de carpas: 1) Completamente escamosa; 2) Parcialmente escamosa “carpa espejo” (carpa de Israel); 3) Con una hilera de grandes escamas en cada uno de sus lados; y, 4) Virtualmente sin escamas (“la carpa desnuda”) (Hepher y Pruginin, 1991).

Se trata de un pez de aguas templadas a cálidas, se le considera resistente a las condiciones adversas. El crecimiento disminuye a medida que disminuyen las temperaturas, y su alimentación se detiene a temperaturas cercanas a los 5°C. A

temperaturas promedio de entre 15 y 18 °C pueden vivir y crecer lo suficiente; en épocas de veranos muy cálidos se refugian en el fondo, en la parte profundas de los estanques y se vuelven letárgicas (Dirección de Acuicultura, 2010).

La carpa adulta puede llegar a pesar de 10 a 20 kilos y medir más de 80 cm de largo en vida silvestre; pero en los cultivos se les cosecha en base al peso requerido en los mercados a las cuales se dirige el productor (Dirección de Acuicultura, 2010). Su fase reproductiva inicia a los seis meses de edad aproximadamente, y las gónadas se desarrollan relativamente en grandes proporciones. Las variedades europeas domesticadas por lo general son más “redondas”, teniendo una mayor relación profundidad / longitud (Hepher, 1993).

1.3.- Fisiología del aparato digestivo

La fisiología digestiva de los peces se basa en numerosos estudios anatómicos, estos tratan sobre campos como la regulación del tránsito digestivo, la estructura molecular de las enzimas, la organización de las células de la absorción, la naturaleza y la función de las hormonas del tubo digestivo; por otro lado, los estudios realizados por los técnicos sobre digestibilidad, han provisto resultados que complementan reportes sobre la fisiología y que tienen una importancia en la nutrición aplicada y la formulación de los alimentos para esta especie (Guillaume *et al.*, 2004).

La carpa es una especie considerada como no voraz, al carecer de dientes en la boca, aunque los poseen a nivel de la faringe, en varias filas que sirven para una retención selectiva y trituración de alimentos antes de que ingresen al intestino, pues el esófago hace conexión directa con el intestino (Huet, 1998).

Respecto al esófago es corto y dilatado, no presenta apéndices pilóricos y por consiguiente reduce el poder digestivo de los alimentos, no hay secreción de pepsina y el pH es alcalino (6.7 a 7.7); razón por la cual, la carpa solo aprovecha los alimentos tradicionales que se le proporcionan cuando el alimento natural representa una parte importante (alrededor del 50%) de la alimentación total y

libera diastasas indispensables para la digestión. La situación es diferente si se alimenta con alimentos completos (Huet, 1998). La función intestinal, es similar al del intestino delgado de mamíferos o al de las aves, aunque presenta cierta diferenciación que recuerda la sucesión del duodeno, yeyuno e ileón, aunque sin tener un colon verdadero; la pared intestinal solo tiene 3 tunicas: mucosa, muscular y serosa, las vellosidades intestinales no están bien individualizadas y son subvellosidades o pliegues; durante toda la vida del pez, algunos enterocitos mantienen una función endocítica, característica de los neonatos mamíferos, con enzimas digestivas similares al de los vertebrados superiores (Guillaume *et al.*, 2004).

Existen otros órganos que complementan el aparato digestivo, los principales son el hígado, bazo y páncreas (Huet, 1998). En el caso de la carpa común, el hígado y el páncreas trabajan como un solo órgano desarrollado, la secreción de bilis es abundante, en el caso del páncreas no forma una glándula individualizada, se observa un conjunto difuso de células depositadas alrededor del duodeno, en la región de los ciegos pilóricos cuando estos existen; estos racimos o glándulas forman al “hepatopáncreas”, las secreciones enzimáticas son vertidas al canal colédoco; al lado de las células digestivas existen células endocrinas (islotos de Langerhans) que secretan insulina (Guillaume *et al.*, 2004).

Existen 3 tipos de enzimas digestivas: a). Enzimas secretoras por el páncreas y en forma minoritaria por el estómago, y sobre todo por el duodeno; b). Enzimas de membrana que se encuentran en pequeñas porciones en el quimo, pero que solo actúan en condiciones normales, ligada a la membrana de las microvellosidades, todas estas enzimas son intestinales y tienen como función la degradación de los fragmentos de macromoléculas filtradas por el glicocalix, se sitúan cerca de los sistemas de transporte que aseguran la absorción en el citoplasma del enterocito, y; c). Enzimas de células del tracto digestivo, localizadas afuera de la pared, por ejemplo, “lisosimas” (Guillaume *et al.*, 2004).

En el caso de la carpa común, presenta una o dos líneas de escamas, utiliza el alimento natural y el alimento artificial basado en cereales, ambos tipos de alimento ayudan a su rápido crecimiento (Horváth *et al.*, 2002). Por otro lado, el alimento natural constituye una parte importante de su alimentación, aproximadamente el 50%, pero este alimento puede carecer de algunos nutrientes importantes como aminoácidos, para el crecimiento normal de estos organismos. Al trabajar con canales de agua y jaulas, el piscicultor necesariamente debe suministrar dietas completas, ricas en proteínas (Dirección de Acuicultura, 2010). Su régimen alimenticio natural es omnívoro a base de organismos planctónicos, así como de animalillos que viven en las riberas y en el fondo de los estanques. Mientras que la alimentación artificial para el proceso de engorda puede estar constituida de semillas vegetales como leguminosas, cereales e incluso piensos compuestos (Huet, 1998).

En las carpas es aconsejable repartirles poco alimento, ya que al llenarse el intestino delgado puede eliminarse sin digerir y de esta forma repercutir en las pérdidas de la producción, en este caso es preciso alimentar a diferentes periodos durante el día (Hepher, 1993).

2.- Cultivo de organismos acuáticos

En el cultivo de peces es necesario cumplir los siguientes conceptos: a). Que sean de rápido crecimiento, reduciendo al mínimo la necesidad de raciones de mantenimiento en cultivo extensivo o semiintensivo y se produzcan peces para la venta antes de alcanzar su madurez sexual, el rápido crecimiento será el resultado del excelente uso del alimento natural y artificial; b). Que sean resistentes a las enfermedades y otras causas que debilitan a los peces en general (contaminación, transporte e hibernación); c). Si se producen buenos peces, estos darán larvas de rápido crecimiento que perpetuaran las características de calidad de los padres (Hepher y Pruginin, 1991).

2.1.- Sistemas de cultivo de la carpa (*Cyprinus carpio*)

El principal Cyprinido, la carpa común, es muy popular y se cultiva inclusive en estanques asociada con otras especies, es cultivada para consumo humano, como también para resiembras de ambientes naturales en algunos países donde es autóctona, y para pesca deportiva. En el siglo XIX tuvo un importante progreso al trabajarse en cultivos extensivos, con el cambio a cultivos en tanques y también con reproducción controlada, los mejores resultados y el aumento del cultivo, se notó a partir del ofrecer raciones secas concentradas, y de aplicar técnicas de fertilización artificial (FAO, 2012).

Los peces al mercado deben tener un peso para consumo, requerido por las exigencias de los consumidores, en el mercado de Europa Central su peso corporal debe oscilar alrededor de 1.0 a 1.5 kg; 500 a 750 gr en Israel; 75 a 100 gr en Indonesia y 500 a 750 gr en México. La carpa será consistente en cuanto a su musculatura y sin demasiada grasa; la cabeza, pequeña; el cuerpo con pocos huesos y espinas, y los productos sexuales poco desarrollados. Según las regiones, se solicitan peces con cubierta de escamas tan pequeña como sea posible o bien, por el contrario se prefieren peces de cuerpo cubierto por completo de escamas (Huet, 1998).

La carpa es un pez termófilo, que preferentemente se reproduce en aguas cálidas, pero puede tolerar extremos, desde un agua altamente cálida hasta fluctuaciones rápidas de temperatura, su metabolismo y consecuentemente su demanda por alimentos disminuye al tiempo que disminuyen las temperaturas y prácticamente se detiene con una temperatura de 4 °C, su capacidad para un rápido crecimiento característica de la especie se manifiesta mejor a temperaturas superiores de 20 °C, muestra alta tolerancia en aguas salobres así como a aguas alcalinas de pH 9, es poco sensitiva a las variaciones de oxígeno, requiriendo entre 3 a 4 mg/L (con niveles de 0.3 a 0.5 mg/L son perjudiciales, lo que puede provocar su muerte), tiene la capacidad de crecer muy rápido, ocasionalmente los individuos alcanzan pesos de hasta 20 kg (Horváth *et al.*, 2002).

El cultivo se puede dividir esencialmente en dos estadios o procesos fundamentales: 1° La etapa de reproducción y la de larvicultura, en la cual se requiere un conocimiento biológico del pez en términos de reproducción, biología, ecología, taxonomía, mientras que el segundo estadio es necesario un conocimiento tecnológico, nutricional, fisiológico y práctico del manejo de la producción en los estanques, la reproducción y el cultivo larval, abarca la preparación de los reproductores de calidad, que desoven con técnicas naturales o bien, con procedimientos sofisticados que se desarrollan en un laboratorio, las larvas una vez alimentadas; y el 2° El cultivo de los peces en crecimiento; en donde especímenes del primer estadio, son sembradas en estanques especialmente preparados, luego de 3 a 4 semanas después de su siembra los juveniles son cosechados y transferidos a los estanques de pre-engorde y luego a los de engorde final; la temperatura del agua influye potencialmente en el crecimiento del pez, a mejor temperatura cálida superior de 20 °C se obtendrá mayor crecimiento del pez en menor tiempo (Horváth *et al.*, 2002).

En cuanto a la forma de cultivo, las unidades de producción piscícolas se clasifican en extensivas, semiintensivas e intensivas; de acuerdo a la forma del cultivo, cambia el sistema de alimentación resultando en alimentación natural o alimentación artificial. Las de tipo extensiva tiende a retirar de las aguas cultivadas una cantidad de peces correspondiente a la productividad natural; en cuanto a las de tipo intensiva busca producir la cantidad máxima de peces en un mínimo de espacio de agua (Huet, 1998).

2.1.1.- Sistema extensivo

En el sistema extensivo se aprovechan racionalmente los cuerpos de agua naturales o los utilizados para otros fines, como los construidos para riego, producción de electricidad, bebederos para el ganado y actividades recreativas, en este tipo de producción el control que ejerce el hombre es mínimo sobre los organismos que se cultivan, se tiene como meta la producción de pescado con

finés sociales, con el objetivo de que llegue alimento a grandes grupos de la población, en especial los que tienen pocos recursos económicos; entre los problemas más comunes en la producción extensiva se encuentran la competencia y la depredación. Muchos depredadores llegan a los embalses a alimentarse, también es un problema la presencia de insecticidas en el agua del embalse, debido a su proximidad con terrenos de cultivo (Navarrete *et al.*, 2000).

2.1.2.- Sistema semiintensivo

En los sistemas semiintensivos, se ha realizado una modificación significativa sobre el ambiente, se tiene control completo sobre el agua, las especies cultivadas y las especies que se cosechan; se utilizan fertilizantes para lograr una máxima producción, también puede usarse un alimento suplementario no completo, para complementar la productividad natural sin necesidad de utilizar aireación mecánica; este es el nivel más común para pequeños y medianos productores que no tienen recursos económicos para grandes inversiones y que cuentan con capital limitado donde los alimentos de buena calidad no son disponibles, generalmente es un estanque de tierra que se puede llenar y drenar al gusto del productor, los insumos incluyen fertilizantes orgánicos e inorgánicos, alimentos suplementarios, subproductos agrícolas (afrecho de trigo, semolina de arroz), maíz y algún alimento fabricado localmente (Saveedra, 2006).

El cultivo convencional se realiza en estanques existentes en propiedades rurales, durante 180 días con bajas densidades de siembras de alevines (de 5 cm o 2 cm²) y alimentación suplementaria con subproductos agrícolas, obteniéndose una producción de 3 ton/ha/año y un peso final de 500 gr (Toledo-Pérez y García-Capote, 2000).

2.1.3.- Sistema intensivo

La piscicultura intensiva consiste en cultivar peces en estanques u otras estructuras como jaulas y corrales, construidos especialmente para los tipos de

especies que se trabajan; como un control lo más completo posible de toda la operación requiere una serie de elementos indispensables, valorando las características de los cuerpos de agua, los cuales pueden ser naturales o artificiales; siendo su unidad de producción el estanque o una jaula, con el suficiente suministro de agua y localizarse en un terreno apropiado caracterizado por su impermeabilidad, por ser fácil de cavar y por presentar un declive que permita que el agua llegue a las instalaciones por gravedad, debido a que la fuente de abastecimiento se puede encontrar más arriba que la zona de los estanques (Toledo-Pérez y García-Capote, 2000).

3.- Producción de carpa a nivel mundial

Los productos pesqueros son actualmente una de las fuentes de proteína animal más importantes a nivel mundial, ya que representan 25% del total de proteínas ingeridas en los países en vías de desarrollo, y 10% en Europa y Norteamérica. La producción mundial de la industria pesquera para el año 2005 fue de 141,6 millones de toneladas, y la participación de la acuicultura fue de 47,8 millones de toneladas, lo que represento 33.76% del total producido; China, Perú y Estados Unidos son los principales países pesqueros a nivel mundial; en 2005 China contribuyo con 16,9 millones de toneladas de pesca (González, 2012).

Durante el año 2002, la producción de carpa común cultivada fue cercana al 14 % del total de la producción global de acuicultura en agua dulce. La producción de carpa común aumentó en una tasa promedio global de 9.5 % por año entre 1985 y 2002. Durante 1993 al 2002 hubo un incremento del 10.4 % por año. Esto es mayor que la tasa de expansión de producción del cultivo de carpa china (10.1 % al año), carpa plateada (8.8 % al año) y carpa cabezona (7.2 % al año), pero menor que aquella de tilapias (11.8 % al año); las principales áreas productoras de carpa común fueron Asia (alrededor de 93 %) y Europa (4.5 %). En Europa, la producción fue de 144 602 ton; la producción europea ha estado aumentando gradualmente de nuevo; la mínima del período 1993-2002 fue de 125 274 ton en

1997. El suministro de peces comestibles producidos por países que integran la comunidad económica europea se ha incrementado a una tasa media anual del 3.2 %, superando así la tasa de crecimiento de la población mundial del 1.6%, es decir, que el consumo per cápita para el año 2012 aumento a 19.2 kg (FAO, 2012).

La producción acuícola en China, del sur y sureste de Asia, consiste básicamente en ciprínidos (carpas), mientras que la producción de Asia oriental es de peces marinos de alto valor: el 97.5 % de ciprínidos, 87.4% de camarones y 93.4% de ostras provienen de Asia y del pacífico. En Europa central y Oriental la carpa es la especie acuícola dominante, de las especies cultivadas a nivel mundial (peces, crustáceos y moluscos), la carpa represento el 40% de la producción de acuicultura (18.3 millones de toneladas) en 2004 (González, 2012).

Las especies desarrolladas en acuicultura en orden de importancia, son: carpas (*Cyprinus carpio*), ostras (*Ostrea* sp), almejas (*Ruditapes decussatus*), camarones (*Macrobrachium* sp), salmón (*Salmo salar*), trucha (*Oncorhynchus mykiss*), mejillón (*Mytilus edulis*), tilapia (*Oreochromis* sp), y vieiras (*Pecten jacobaeus*); las cuales representaron 90.48% del total producido en 2004; lo cual correspondio en producción al 52.5% a peces de agua dulce (carpas y tilapias), 29.1% a moluscos, 8.1% a crustáceos, 6.3% a peces diadromos (salmones), 3.2% a peces marinos y 0.8% a otros animales marinos (González, 2012).

3.1.- Producción acuícola en Latinoamérica

Los principales productores acuícolas en Latinoamérica durante 1994, fueron: Chile (190,000 ton), Ecuador (100,000 ton), México (70,000 ton), Brasil (30,000 ton), Colombia (25,000 ton) y Cuba (25,000 ton). En América latina y el Caribe el crecimiento de la producción de carpa ha sido del orden de un 14.5% promedio anual entre 1984 a 1994 o sea de 121,373 ton a 472,429 respectivamente. En este mismo año, el cultivo de peces de agua dulce presento el 18% de la producción acuícola total de América Latina, con la siguiente

composición por especie: tilapia (42 %), trucha (25 %), carpa (17.9 %), cachama (5.4%) y bagre (0.9 %) (Lovshin y Papma, 1995; FAO, 2012).

De acuerdo al Anuario Estadístico (2011-2012), en México, la carpa por su volumen está posicionada en el lugar 11 de la producción pesquera, pero, por su valor comercial se sitúa en el 8° lugar. La tasa media de crecimiento anual de la producción en los últimos 10 años es de 1.78%. Es la especie con más historia en la acuicultura de México, se encuentra ampliamente distribuida en el territorio nacional dada su gran adaptabilidad y capacidad reproductiva. Se reporta que el Estado de México, es el primer productor de carpa, registros estadísticos en base al peso vivo en toneladas la captura de esta especie para el año 2002 fue de 4,160 y para el 2011 de 7,224 Ton; asimismo, la participación de la Entidad fue del 57.66 % de carpa, 30.22 con trucha y 8.24 de mojarra.

4.- Importancia de los minerales en la alimentación de la carpa

La acuicultura Latinoamericana, presenta una serie de problemas relacionados a la alimentación y nutrición; en los peces de agua dulce el aporte nutricional adecuado es una de las principales causas que propicia desbalances y una correcta metodología en la alimentación; ya que las demandas y requerimientos nutricionales no cumplen satisfactoriamente en cada una de las etapas para producir en cantidad y calidad; la incorrecta selección de ingredientes para la alimentación a un bajo costo, ocasiona una falla en la eficiencia en la piscicultura (Toledo-Pérez y García-Capote, 2000).

Como todos los demás animales, los peces requieren minerales como elementos esenciales para el metabolismo y el crecimiento; los peces son capaces de absorber una parte de los minerales requeridos directamente del agua a través de las branquias o incluso a través de toda la superficie corporal. La absorción de minerales en peces de agua dulce se requiere para mantener la osmorregulación, y sin duda tiene un papel fundamental desde el punto de vista de la nutrición (Hepher, 1993).

Los minerales tienen funciones estructurales y metabólicas (coenzimas). Comúnmente se adicionan como premezclas específicas a la formulación. Las dosis usuales de la premezcla de minerales fluctúan entre 1.0 y 1.5 %. Otros proceden de los alimentos y del agua donde se desarrollan los organismos acuáticos. Los minerales se clasifican en:

Macrominerales: Su dosis varia de 0.1 a 2.0 % del peso seco de la formulación. Actúan como coenzimas y los principales son: cloro (Cl), sodio (Na), calcio (Ca), fosforo (P), magnesio (Mg), potasio (K) y azufre (S).

Microminerales: Se agregan en dosis de 0.0008 % de la dieta y los más importantes son: hierro (Fe), yodo (I), cobalto (Co), cobre (Cu), flúor (F), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se) y zinc (Zn) (Pérez-Estrada *et al.*, 1998; Maynard, 2001).

Guillaume *et al.*, (2004) refieren que los peces requieren de un aporte mineral adecuado, ya que también al igual que en otros organismos, constituyen parte de ciertos tejidos (sobre todo de formaciones esqueléticas), o de ciertas moléculas, como cofactores enzimáticos o participando en el equilibrio iónico intra y extra celular, así como en la regulación de las funciones endocrinas, se conocen siete microminerales y quince oligoelementos o microminerales con una función fisiológica en la mayor parte de los animales; a la fecha solo hay un claro requerimiento nutricional cualitativo para once de ellos en los peces (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Elementos minerales de importancia en acuicultura

Macrominerales	Oligoelementos	
Calcio (Ca)	Hierro (Fe)	Flúor (F)
Fosforo (P)	Zinc (Zn)	Níquel (Ni)
Potasio (K)	Manganeso (Mn)	Vanadio (V)
Magnesio (Mg)	Cobalto (Co)	Silicio (Si)
Sodio (Na)	Cobre (Cu)	Estaño (Sn)
Cloro (Cl)	Iodo (I)	Cromo (Cr)
Azufre (S)	Selenio (Se)	Aluminio (Al)

En negrita: elementos para los que se ha establecido claramente una función nutricional cuantitativa en peces. Fuente: Guillaume *et al.*, (2004).

Cuadro 2. Síntomas de deficiencia mineral en bagre de canal, en carpa común y en tilapia del Nilo, cultivados en estanques.

Minerales	Cuadro sintomático
Cobre	Desarrollo óseo y colágeno inadecuado
Fosforo	Cabeza deforme. Calcificación anormal de las costillas. Crecimiento lento. Incremento de la grasa corporal e hígado graso. Mineralización anormal de huesos de la columna.
Hierro	Anemia
Manganeso	Aleta caudal anormal. Crecimiento lento
Magnesio	Letárgica. Alta mortalidad. Músculos degenerados. Crecimiento lento
Selenio	Distrofia muscular y crecimiento lento.
Yodo	Goiter (bocio).
Zinc	Cataratas. Disminución del apetito y del crecimiento. Erosión de la piel y las aletas.

Fuente: NRC. (2000).

5.- Concentración e importancia del cobre y hierro en la producción acuícola

El factor más importante que afecta el éxito o fracaso de una inversión en una piscifactoría es el subministro de agua (Blanco, 1995). La cantidad de agua disponible determina la cantidad de peces que se pueden producir, cada especie posee unos límites convenientes para los diversos parámetros de la calidad del agua, tales como la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, concentración de macrominerales y oligoelementos dentro de un rango, para conseguir un rápido crecimiento y un comportamiento eficiente (Blanco, 1995; Shepherd y Bromage, 1999).

Los factores físicos y químicos son de importancia para la calidad del agua, en este caso la corriente del agua favorece la oxigenación y el flujo continuo; aguas claras y cristalinas y la temperatura del agua, son factores que se toman en cuenta en dependencia de la variedad de pez para cultivo, para asegurar su salud y por ende la salud del consumidor (Martínez y Ross, 1994).

La composición química del agua considerada como pura, se encuentra influida por la riqueza mineral de los terrenos por los que discurren, actualmente las aguas de los ríos llevan productos orgánicos y cuerpos extraños a su naturaleza, procedentes de la contaminación ambiental (Blanco, 1995; Alarcón, 2003). Las aguas superficiales pueden contener cantidades significativas de minerales disueltos tales como hierro ferroso, cobre y manganeso, estos se pueden disolver como bicarbonatos y pueden formar un precipitado coloidal de hidróxidos de hierro y manganeso en el exterior de los huevos de los alevines. Los niveles elevados de sólidos en suspensión se pueden formar a causa de una insuficiente eliminación de los restos fecales de los estanques, originando irritación mecánica, que propicia un mayor contenido de niveles mayores de amoníaco y la extracción del oxígeno del agua por descomposición; el tipo en particular de los sólidos en suspensión influye en gran manera en el límite superior de seguridad, por regla general el nivel máximo de sólidos totales en suspensión no debería superar los 30 mg/L (Eisler, 2000; García et al., 2002).

En reportes de hace años, y en los últimos tiempos es cada vez más frecuente la contaminación brusca o accidental de las aguas, con efecto nocivo para los peces, dependiendo de las concentraciones alcanzadas para su toxicidad, tiempo de actuación y características del medio (Langston, 1990; Tortelli y Hernández, 1995).

Blanco (1995) (cita a Gordon *et al.*, 1974 y a Chakoumakos, 1979), quienes han referido que en el caso particular del límite de toxicidad de cobre para los salmónidos, es de 0.1 mg/L (bajo la forma de $\text{SO}_4\text{Cu}_5\text{H}_2\text{O}$), la intoxicación puede tener lugar con concentraciones inferiores cuando el agua sea muy pura. Para el

caso del hierro: el hierro obtura las branquias depositándose en las secreciones mucosas bajo formas de hidróxido de hierro, con valores de pH entre 6.5 y 7.5; una concentración de 0.9 mg/L tiene un efecto mortal.

5.1.- Cobre y hierro en carpas

Los metales tienen un origen natural; durante las últimas décadas ha aumentado considerablemente su concentración en las zonas industrializadas, contaminando la atmósfera, la cubierta sedimentaria y las aguas, sistemas que corresponden al soporte de todo el componente biótico, la introducción de un determinado producto antropogénico puede o no inducir a desequilibrios en un ecosistema que conduzcan a su deterioro. Entre los muchos contaminantes que se vierten al medio ambiente, los metales pesados han recibido especial atención por sus efectos tóxicos duraderos y por no ser biodegradables (Tortorelli y Hernández, 1995; Nebel, 1999).

Pinochet *et al.*, (2002) consideran el concepto de “metales pesados” basándose en las características químicas, como también en la densidad; al referir como metales pesados a aquellos elementos químicos con una densidad mayor a un cierto valor, usualmente 5 a 6 g/cm³.

Desde el punto de vista nutricional algunos elementos también son llamados “metales trazas” (compuesto químico necesario en cantidades ínfimas para el crecimiento, desarrollo y fisiología de un organismo), aunque dicho término puede simplemente implicar la presencia de un requerimiento esencial de un determinado metal en un organismo (Nelson, 1996).

Todos los metales ya sean biológicamente esenciales como aluminio (Al), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mb), níquel (Ni), selenio (Se), estaño (Sn), vanadio (V), y zinc (Zn); o no esenciales como cadmio (Cd), arsénico (As), oro (Au), plomo (Pb), mercurio (Hg), y plata (Ag) (García *et al.*, 2002; Alarcón, 2003); se caracterizan por ser potencialmente dañinos, debido a que tienen efectos tóxicos en la biota (Langston, 1990; Mann *et al.*, 2002).

Los micronutrientes esenciales pueden ser potencialmente tóxicos para los organismos acuáticos y para los seres humanos si los niveles de exposición son suficientemente altos, en este sentido se debe hacer una clara diferenciación entre los elementos que poseen funciones esenciales para la vida, como es el caso del cobre y hierro, frente a aquellos cuya ingestión a bajas dosis desencadena efectos tóxicos (Copa-Rodríguez y Basadre-Pampín, 1994). Otra característica que hace que los metales pesados sean tan peligrosos es su tendencia a acumularse en los organismos. Por esta causa, cantidades reducidas y en apariencia inofensivas absorbidas durante un largo período de tiempo pueden alcanzar niveles tóxicos, fenómeno que recibe el nombre de bioacumulación (Nebel, 1999).

La bioacumulación consiste en la capacidad de los organismos de almacenar selectivamente contaminantes en sus tejidos, respecto a las concentraciones existentes en el medio en que habitan. La acumulación de metales pesados en organismos marinos es un proceso complejo donde intervienen una serie de mecanismos internos y externos que juegan un papel determinante, tales como; la talla de los organismos (órganos), la composición bioquímica, factores genéticos, los ciclos de desove que afectan su condición y peso, la biodisponibilidad del metal, la temperatura y la salinidad del agua (Phillips, 1976; Paris, 2000).

Esta acumulación de metales pesados en los organismos es dependiente tanto de factores abióticos como biológicos. Dentro de los factores biológicos estarían la edad, estado de desarrollo, sexo, especie, tamaño, adaptación fisiológica o genética a altos niveles de substratos metálicos y especificidad del tejido (Eisler, 2000), entre los abióticos, se encuentra: la temperatura del agua, salinidad y estacionalidad, especie química del metal y la concentración de iones en el medio, pH y proximidad a los orígenes antropogénicos del metal. La contaminación por metales pesados cuyo origen sea antropogénico, puede provenir de fuentes como, uso de combustibles fósiles, la minería y metalurgia, descargas industriales y urbanas, utilización de pesticidas y herbicidas. Muchos metales pesados son muy usados en tuberías, baterías, cables, pigmentos

(pinturas), gasolina, soldaduras y productos de acero (Bryan y Langton, 1992; Alarcón, 2003; Bustos *et al.*, 2006).

Los efectos sobre la biota se pueden manifestar en una variada gama de consecuencias, que pueden afectar el crecimiento, morfología, comportamiento, reproducción y reclutamiento; así como en procesos fisiológicos relacionados a las características de la sangre y circulación, deterioro en el sistema renal, hepático o neuronal, depresión o aceleración de la actividad enzimática y hormonal; además, de efectos carcinogénicos y mutagénicos, propensión al parasitismo, e incluso daños letales en los organismos (Langston, 1990; Eisler, 2000; Gagneten, 2000; Chang y Reinfelder, 2002).

El cobre (Cu) es un elemento esencial que es eficientemente regulado a bajas concentraciones, pero es rápidamente tóxico para organismos acuáticos, cuando su concentración en el ambiente aumenta. Para la toxicidad del Cu en el medio acuático, existe evidencia experimental de que un considerable número de especies son sensibles a concentraciones disueltas tan bajas como 1 – 10 µg/L (Bryan y Langton, 1992). Este elemento es abundante en el medio ambiente y esencial para el crecimiento normal y metabolismo de todos los organismos vivos. Las descargas de cobre en la biosfera global son debidas principalmente a actividades humanas, especialmente minería, producción, refinería y el tratamiento y reciclado de productos industriales y desperdicios. Algunos compuestos, especialmente sulfato de cobre, también contribuyen al aumento de este elemento en el ambiente debido a que es usado intensamente en áreas geográficas determinadas para el control de especies de mosquitos de plantas acuáticas e invertebrados, enfermedades de plantas terrestres y ectoparásitos de peces y animales mamíferos de consumo humano (Alarcón, 2003). Los compuestos de cobre son altamente usados como plaguicidas en el control de algas y macrófitos. También, son usados en agricultura, en productos veterinarios y médicos, en la industria de alimentos y como preservadores de maderas y otros materiales (Eisler, 2000; Alarcón, 2003).

Para el hierro (Fe) elemento traza esencial, los requerimientos diarios dependen de la edad, sexo, estado fisiológico y la biodisponibilidad del mismo (Spiro, 2004). Es un metal extraordinariamente común y se encuentra en grandes cantidades en suelos y rocas, aunque normalmente en forma insoluble. Este elemento es soluble como ion ferroso (Fe^{2+}) y se oxida en presencia de aire a la forma insoluble férrica (Fe^{3+}). Sin embargo, debido a un número de complejas reacciones que se suceden de forma natural en el suelo, se pueden producir especies solubles de hierro que pueden contaminar cualquier agua que lo atraviese (Gray, 1996). En dosis tóxicas en humanos, el Fe es absorbido casi completamente y logra entrar rápidamente en la circulación. Si la capacidad de transferrina para transportar Fe es excedida, queda Fe libre que es el responsable del daño al unirse a los tejidos de los cuales el hígado es el más afectado, donde se evidencia una necrosis hemorrágica del hepatocito (Paris, 2000).

El dato de los únicos valores de referencia en peces, son los obtenidos en el estudio realizado al oriente de la India, por Bhupander *et al.*, (2011) al analizar muestras de tejido muscular de tilapias (*Oreochromis niloticus* y *O. mossambicus*), para el caso del cobre, fueron de: 7.1 ± 0.7 y 5.9 ± 1.0 $\mu\text{g} / \text{g}$ materia seca respectivamente, y para el caso del hierro en las mismas especies, los niveles en $\mu\text{g} / \text{g}$ materia seca, fueron de: 89.6 ± 18.6 y 41.4 ± 10.5 respectivamente.

JUSTIFICACIÓN

El crecimiento de la población humana va a la par con un incremento en la demanda de proteína, en este sentido la acuicultura desarrolla y aplica tecnologías que utilizan recursos naturales más eficientes. El cultivo de la carpa (*Cyprinus carpio*), criada en sistemas de explotación extensiva es cada vez más común, la carpa necesita un gran volumen de agua en proporción con la biomasa en peces. Los ingredientes contenidos en el alimento de los peces contienen macroelementos y minerales traza, sin embargo existe la posibilidad de que se presente en los peces evidencia de signología que puede estar asociada a un déficit de minerales, principalmente cobre y hierro.

Algunos minerales absorbidos por los peces no satisfacen su requerimiento nutricional diario, por lo que es importante evaluar la concentración de minerales como el cobre y el hierro en la carpa común, para determinar en qué niveles se encuentran, siendo importante desde el punto de vista nutricional para la especie, como para la condición que pueden tener estos elementos minerales en la dieta de los consumidores en el aspecto nutricional de deficiencia o exceso.

HIPÓTESIS

Los niveles de cobre (Cu) y hierro (Fe) en tejido muscular de la carpas (*Cyprinus carpio*) cultivadas en el Estado de México, se encuentran dentro de los valores referenciales.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Determinar la concentración de cobre (Cu) y hierro (Fe) en tejido muscular de carpas (*Cyprinus carpio*) cultivadas en el Estado de México.

Objetivo particular.

Contrastar los valores obtenidos de Cu y Fe de músculo de carpas (*Cyprinus carpio*) cultivadas en el Estado de México, con valores de referencia.

MATERIAL

Material biológico.

180 Muestras de tejido muscular de carpas (*Cyprinus carpio*), de diferentes cuerpos de agua del Estado de México.

Material de campo.

Bolsas de plástico

Guantes.

Bata.

Material de laboratorio.

Papel Whatman No. 41.

Ácido nítrico.

Ácido perclórico

Agua desionizada.

Frascos de plástico.

Equipo de laboratorio.

Balanza analítica. Sartorius NOM - 01

Digestor (LABCONCO-64132).

Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin Elmer No. Serie LR23329C (Manual Perkin Elmer Co.: Analytical Methods for Absorption Spectrophotometry).

Lámpara de cátodo hueco específica para cobre y hierro.

MÉTODO

Las muestras de tejido fueron colectadas durante el examen anatomopatológico que de manera rutinaria se realizó a los peces enviados para diagnóstico al área de sanidad acuícola del CIESA, las cuales colocaron en bolsas de plástico, y se identificaron.

Procesamiento de muestras.

Cada una de las muestras, fue pesada mediante una balanza analítica en un crisol. Después se les agrego 5 mL de ácido nítrico concentrado, se dejaron en reposo durante 1 hora y se colocaron en un digestor, hasta la emisión de gas; posteriormente se les agrego 1 mL de ácido perclórico y se continuó con la digestión hasta el punto en que cada muestra se aclaró (color amarillo claro) y dejo de desprender gas.

Una vez terminada la digestión de las muestras se filtraron con papel Whatman No. 41 y aforaron a 25 mL con agua desionizada y se guardaron en frascos de plástico, identificándolas y cerrándolas con tapón de seguridad hasta su lectura.

La lectura de las muestras se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica con la lámpara específica para el elemento (Cu y Fe) de estudio, bajo las condiciones del fabricante (Perkin Elmer, 1982).

Para el reporte de resultados, se empleó el método descriptivo (Steel y Torrie, 1995; Wayne, 2000), y se compararon con los valores de referencia.

LÍMITE DE ESPACIO

El procesamiento de muestras se realizó en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Autónoma del Estado de México, en el área de Toxicología.

Y la lectura de las muestras se realizó en el área de Toxicología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Autónoma de México en México, D. F. Ciudad Universitaria.

El municipio de Toluca se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2400 metros. En la capital del estado se origina una cadena montañosa que se continúa hacia el Noroeste con altitudes de 2600 a 2800 metros sobre el nivel mar.

La temperatura media anual es de 13.6 °C con una máxima de 25 °C y 3 °C como mínima, se presentan más de 140 días con heladas al año y la presentación pluvial anual varía de 800 a 1500 mm³ durante el período de lluvias comprendido de Mayo a Septiembre, con lluvias aisladas en Abril, Noviembre y Diciembre.

LÍMITE DE TIEMPO

El presente trabajo se realizó desde el mes de marzo del 2016; que inicio con las fases de búsqueda y análisis de información, redacción del protocolo de investigación, para continuar con la capacitación y en el análisis de muestras en el laboratorio, obtención y análisis de resultados, así como redacción del documento final.

Cronograma de actividades

Actividad	Marzo-Abril 2016	Mayo-Junio 2016	Julio- Agosto2016	Junio-Febrero 2018
Búsqueda y análisis de información	X	X		
Redacción del protocolo	X	X		
Procesamiento de muestras en el laboratorio		X	X	
Obtención y análisis de resultados		X	X	
Redacción de documento final				X

RESULTADOS Y DISCUSION

A la fecha existe nula o escasa información referente a indicadores de los elementos minerales de interés del presente trabajo, por lo que con el objeto de determinar los valores de referencia de cobre y hierro se colectaron un total de 180 muestras de músculo de carpas (*Cyprinus carpio*) de cuerpos de agua localizados en el Estado de México, que sirva como referencia de la situación actual de estos elementos minerales.

Considerando que los animales acuáticos están expuestos en forma natural a una variedad de metales cuyas formas y concentraciones químicas están determinadas por procesos geoquímicos naturales y actividades antropogénicas; sin embargo, requieren de minerales traza en sus dietas aunque ellos puedan absorber varios elementos minerales del agua circundante para reunir parte de sus requisitos metabólicos; Davis y Gatlin (1996) reportaron dieciséis minerales traza dentro de los que se encuentran: aluminio, arsénico, cobalto, cobre, flúor, iodo, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, sílice, estaño y vanadio son necesarios e importantes en el metabolismo de los peces.

Para el caso del cobre el promedio general obtenido fue de 5.48 ± 0.49 ppm, con una concentración mínima y máxima de 4.8 y 7.2 ppm, respectivamente.

La alcalinidad y la dureza del agua, el pH y la temperatura modifican la toxicidad del cobre, mientras mayor sea el calcio y menor la acidez, menor será la toxicidad del ion cúprico, debido probablemente a la disminución de la permeabilidad de los tejidos y a la acción del ion calcio en el epitelio branquial donde produce cambios en la carga eléctrica haciéndolo más positivo, por lo que el catión será repelido (Perschbacher y Wurts 1997).

De acuerdo a rangos establecidos en el estudio de la concentración de este mineral, considerando el valor de referencia como normal: 148 muestras (82.2%) se ubicaron por debajo del límite normal, 30 (16.6%) en el rango normal, y 2 (1.1%) por arriba del valor normal de cobre (Cuadro 3 y Figura 1).

Rangos de concentración	Numero	Porcentaje (%)	Promedio y DS
< 5.9	148	82.2	5.29 ± 0.26
5.9 – 6.9	30	16.6	6.30 ± 0.27
> 6.9	2	1.1	7.15 ± 0.07

Cuadro 3. Rangos de concentración de cobre (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.

Valor de referencia: 5.9-6.9 ppm (Bhupander *et al.*, 2011).

Es importante considerar tanto para salud animal, como para inocuidad alimentaria que el efecto de la sobreexposición de cobre en los peces incluye cambios en el comportamiento, disminución del crecimiento, interferencia en la osmorregulación, capacidad reproductiva, interrupción de la actividad enzimática y mortalidad de alevines y adultos en altas concentraciones (Arnal, 2010).

Considerando la fisiología del aspecto fundamental del cobre en el organismo animal, este mineral tiene efecto sobre el transporte de calcio a través de las branquias, pero inhibe el influjo de sodio y estimula el eflujo de sodio, lo que le permitirá una homeostasis dentro del medio acuático (Lauren y McDonald 1996).

Sin embargo, la exposición de cobre resulta en toxicidad respiratoria: ritmo cardíaco, incremento en la presión arterial y concentración de lactato y disminución en la tensión de oxígeno. Afectando el consumo de oxígeno en

periodos cortos en carpa común y decreciendo la excreción de amonio (Wilson and Taylor 1993).

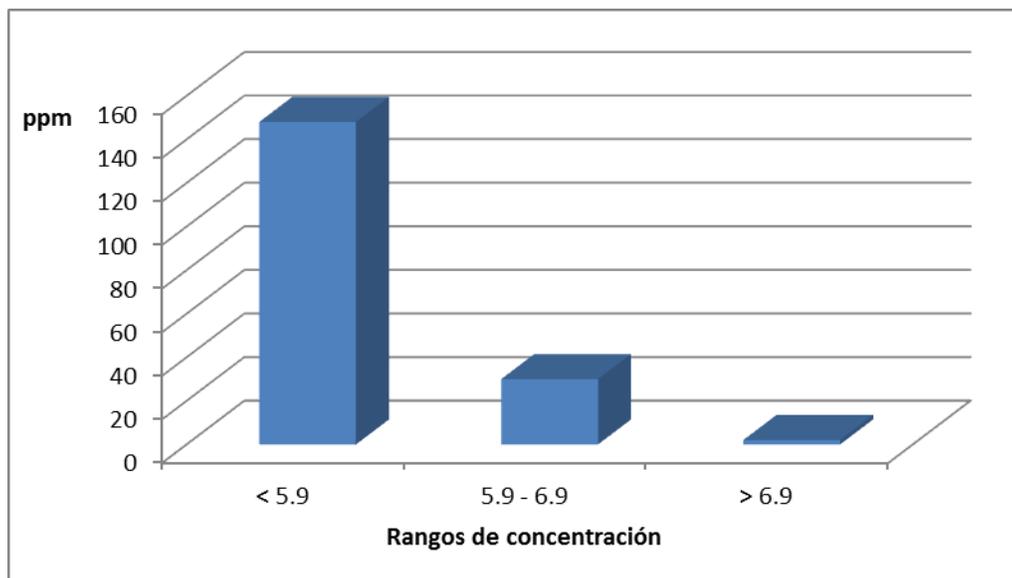


Figura 1. Concentración de cobre (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.

En tratamientos terapéuticos, el sulfato de cobre se administra solo por inmersión y aunque tiene acción biocida benéfica en los sistemas de cultivo, sin embargo, se ha demostrado que también puede tener efectos perjudiciales en los organismos acuáticos, por lo que en todo caso dicha evaluación y aplicación de este tipo de tratamientos debe realizarse por un experto en el área de sanidad acuícola (Heath, 1987; Jobling, 1994; Beaumont *et al.*, 1995; Treves-Brown, 2000).

El sulfato de cobre es un compuesto de uso tradicional en la piscicultura por su alto poder biocida; se emplea frecuentemente en la preparación de estanques y pozas de cultivo (Lloyd, 1992), también es ampliamente utilizado en tratamientos terapéuticos (Treves-Brown, 2000). Sin embargo, en concentraciones relativamente altas, dependientes de la especie y el tamaño, el ion cúprico tiene

un efecto nocivo sobre el sistema respiratorio de los peces; en concentraciones bajas por periodos prolongados el cobre reduce el contenido de oxígeno y el pH sanguíneos (Leland y Kuwabara, 1995; Lydy y Wising, 1990).

En el estudio realizado por Vázquez (2003), en organismos juveniles de la carpa dorada *C. auratus* comprobó a través del oxígeno disuelto residual (ODR), que los baños por 30 minutos de duración con sulfato de cobre (1.0 mg Cu²⁺/l) provocaron estrés en los peces pequeños, en cambio en los de mayor tamaño no detecto efectos adversos del metal. Estos resultados coinciden con Heath (1990), quien menciona que los peces pequeños son más susceptibles por el cobre debido que lo acumulan más rápidamente que los grandes; también refiere que esto se debe a que la tasa de captación del metal, a través de las branquias, se relaciona con la tasa metabólica peso-especifico, indicando que la magnitud de oxígeno residual es proporcional a la concentración del tóxico a la que se exponen los peces.

El hígado y las branquias son los órganos que acumulan la mayoría del cobre en la trucha arco iris. A nivel histológico se ven depósitos de gránulos rojizos a marrones consistentes con depósitos de cobre en hepatocitos acompañado con degeneración vacuolar. A nivel del riñón puede ocasionar la presencia de inclusiones hialinas en el epitelio tubular, donde se deposita también este metal; provoca cambios a nivel de órganos olfatorios incrementando las células globet y células mucosas (Ferguson, 2006).

Por otra parte, el hierro es un elemento esencial para el funcionamiento de órganos y tejidos de animales superiores, incluyendo peces; debido al transporte de oxígeno y la respiración celular. Los peces pueden absorber hierro soluble del agua por la membrana branquial y la mucosa intestinal (Roeder y Roeder, 1996), el alimento es considerado como mayor fuente de hierro para los peces debido a las bajas concentraciones de hierro soluble en aguas naturales (NRC, 2000).

Los niveles dietéticos óptimos de hierro reportado para diferentes especies van de 30 a 175 mg/kg de la dieta. La deficiencia férrica causa anemia hipocrómica microcítica, anorexia, crecimiento pobre, reducción del contenido férrico en el suero, saturación de transferrina, y aumenta la capacidad total de la unión al hierro; una deficiencia o exceso férrico pueden aumentar la susceptibilidad de los peces a diversas infecciones (Davis y Gatlin, 1996).

En este estudio la concentración de hierro detectada en músculo el promedio general fue de 97.84 ± 11.51 , el valor mínimo y máximo fue de 83.9 y 122.8 ppm, respectivamente.

Los requerimientos de hierro son de 30 mg/kg de dieta para el bagre de canal (Lim *et al.*, 1996 a), 60 mg/kg de dieta para el salmón del Atlántico (Anderson *et al.*, 1996), 150 mg/kg de dieta para el esparido rojo. La deficiencia férrica causa anemia hipocrómica caracterizada por la disminución de hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio y hemoglobina corpuscular media; se puede observar una disminución del apetito, eficiencia alimenticia, crecimiento suprimido, reducción del hierro en el suero y saturación de transferrina (Anderson *et al.*, 1996).

De acuerdo a los rangos de concentración establecidos en relación a los valores de referencia 45 muestras (25%) se ubicaron por debajo del límite normal, 97 (53.8%) se ubicaron dentro del parámetro normal, y 38 (21.1%) por arriba del límite establecido como normal de la concentración de hierro (Cuadro 4 y Figura 2).

Cuadro 4. Rangos de concentración de hierro (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.

Rangos de concentración	Numero	Porcentaje (%)	Promedio y DS
< 89.6	45	25	87.59 ± 1.38
89.6-108.2	97	53.8	94.53 ± 3.18
> 108.2	38	21.1	118.42 ± 4.65

Valor de referencia: 89.6- 108.2 ppm (Bhupander *et al.*, 2011).

De acuerdo a Ashmead y Zunino, (1992), el proceso de quelación protege al elemento mineral de formar compuestos insolubles en el tracto digestivo, facilita su absorción a través de las membranas; ya que en estudio experimental el hierro quelado fue absorbido intacto en el intestino, llegando a las diferentes partes del cuerpo, y degradado donde el elemento fue requerido.

La absorción neta del hierro fue significativamente más alta para el proteinato férrico que para el sulfato férrico heptahidratado. Sakamoto y Yone (1979) mostraron que el cloruro ferroso y el cloruro férrico fueron igualmente efectivos previniendo anemia en esparido rojo, pero se requirió una concentración más alta cuando se usó el citrato férrico.

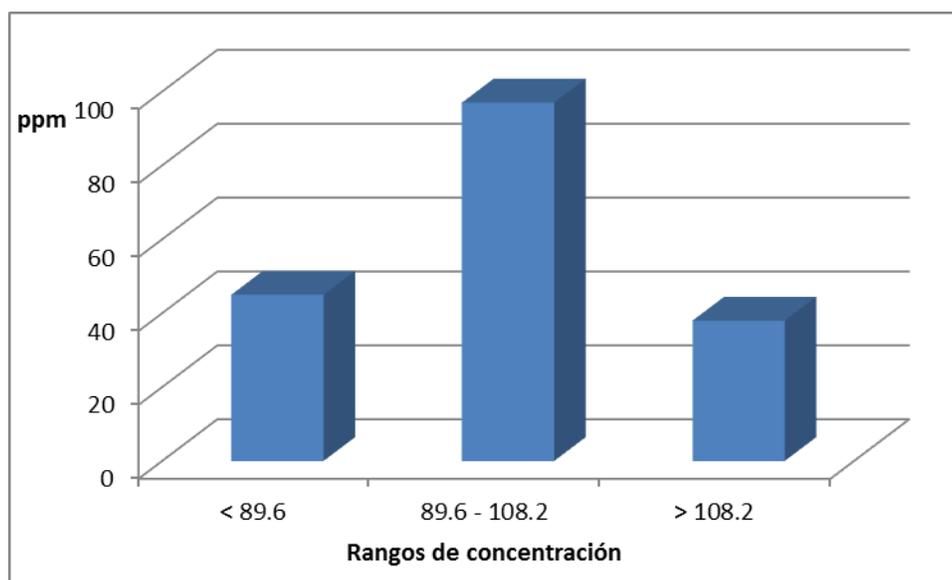


Figura 2. Concentración de hierro (ppm) en músculo de carpas del Estado de México.

El hierro es uno de los micro nutrientes más importantes debido a su efecto en las funciones del sistema inmune y defensa del hospedero contra infecciones. Las bacterias requieren hierro para el crecimiento y replicación, y para la producción y liberación de ciertas exotoxinas; sin embargo, durante un proceso infeccioso, en animales de sangre caliente la disponibilidad de hierro en el fluido corporal para los microorganismos invasores se restringe por la rápida forma de secuestro de hierro en el tejido y la habilidad de proteínas hierro-fijadoras, como transferrina y lactoferrina, para ligar y retener el hierro circulante fuera del alcance de las sideroesporas bacterianas (Beisel, 1982; Bhaskaram, 1988).

Bhupander *et al.*, (2011), ha reportado que el efecto de altas concentraciones de hierro en los peces les produce a nivel branquial hiperplasia epitelial lamelar moderada a severa que provoca la llamada sofocación ocre. En estomago una acumulación del metal en la superficie gástrica con deposito en el lumen de las

glándulas digestivas que conlleva a la dilatación luminal y necrosis glandular. A nivel hepático se observa acumulación de hierro en su citoplasma y en canalículos biliares.

CONCLUSIONES

El promedio general de la concentración de cobre en músculo de carpa fue de 5.48 ± 0.49 ppm, con una concentración mínima de 4.8 y máxima de 7.2 ppm.

Con base a los rangos establecidos de la concentración de cobre: 148 muestras (82.2%) se ubicaron por debajo del límite normal, 30 (16.6%) en el rango normal, y 2 (1.1%) por arriba del valor normal.

En la concentración de hierro detectada en músculo el promedio general fue de 97.84 ± 11.51 , 83.9 como valor mínimo y máximo de 122.8 ppm.

De acuerdo a los rangos de concentración para hierro: 45 muestras (25%) se ubicaron por debajo del límite normal, 97 (53.8%) se ubican dentro del parámetro normal, y 38 (21.1%) por arriba del límite establecido como normal.

SUGERENCIA

Considerando que el sector acuícola es de gran interés tanto social como económico actualmente en México, es importante continuar con estudios periódicos tendientes a evaluar no solo minerales de importancia en la producción y fisiología de los organismos que se cultivan, sino también aquellos que pueden tener impacto en la inocuidad alimentaria y salud pública, como es el caso de metales pesados (Pb, As, Cr y Hg entre otros).

LITERATURA CITADA

- Alarcón, S. (2003). Determinación de Elementos traza (Cd, Cu, Ni, Pb, Hg y As) en Agua de Mar y Sedimento de la Bahía de Puerto Montt, Año 2002. Tesis, Escuela de Química y Farmacia. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile.
- Andersen, F.; Maage, A.; Julshamn, K. (1996). An estimation of dietary iron requirement of Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr. *Aquacult. Nutr.* 2, 41-47.
- Anuario Estadístico (2011 y 2012). Avance de la producción pesquera y acuícola por especie. <http://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pesquera?idiom=es> (08 Enero 2017).
- Arnal, N. (2010). Intoxicación por cobre. Efectos sobre la composición lipídica y el sistema de defensa antioxidante. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de la Plata. Argentina
- Ashmead, H.D. (1992). The roles of amino acid chelates in animal nutrition. Noyes Publication, New Jersey
- Atland, A.; Bjerknes, V. (2009). Calidad del agua. Para el cultivo de Smolt en Chile. Osorno, Chile. NIVA Chile.
- Bardach, J.E.; Ryther, J.H.; McLarney, W,O. (1990). Acuicultura. Crianza y cultivo de organismos marinos y de agua dulce. Wiley Interscience .New York.
- Bhupander, K.; Mukherjee, D.P.; Sanjay, K.; Meenu, M.; Dev, P.; Singh, S.K.; Sharma, C.S. (2011). Bioaccumulation of heavy metals in muscle tissue of fishes from selected aquaculture ponds in east Kolkata wetlands. *Annals of Biological Research*, 2:125-134.
- Blanco, C.M.C. (1995). La trucha, cría industrial. Ediciones Mundi-Prensa. México, D.F. pp. 59-86.
- Bryan, G. y Langston, W. (1992). Bioavailability, Accumulation and Effects of Heavy Metals in Sediments Whith Special Reference to United Kingdom Estuaries: A review, *Environmetal Pollution*. 76: 89-131.

- Bustos, Z.; Monks, W.; Prieto, F.; Román, A. (2006). Estudio de bioacumulación de metales pesados en carpa (*Cyprinus carpio*) de la Laguna de Tecocomulco en Hidalgo. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Centro de Investigaciones Biológicas, Centro de Investigaciones Químicas.
- Chang, S.; Reinfelder, J. (2002). Relative importance of dissolved versus trophic bioaccumulation of copper in marine copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 231:179 -186.
- Copa-Rodríguez, F.J.; Basadre-Pampín, M.I. (1994). Determination of iron, copper and zinc in tinned mussels by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-EAS). *Fresenius J. Anal. Chem.*, 348:390-395.
- Davis, D.A.; Gatlin, D.M. (1996). Dietary mineral requirements of fish and marine crustaceans. *Reviews in Fisheries Science*, 4, 75-99.
- Dirección de Acuicultura (2010). Cultivo de carpa común (*Cyprinus carpio*).
- Eisler, R. (2000). Handbook of Chemical Risk Assessment. Health, Hazard to Humans, Plants and Animals. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, pp. 650.
- FAO. (2012). El estado mundial de la pesca y la acuicultura. Departamento de Pesca y Acuicultura de la FAO. pp. 3-8. <http://www.fao.org/docrep/016/i2727s/i2727s.pdf> (12 Septiembre 2016).
- Ferguson, H.W. (2006). Systemic pathology of fish. A text atlas of normal tissues in teleosts and their responses in disease. Plenum Press. USA.
- Gagneten, A. (2000). Efectos del Cu y del pH sobre la adecuación biológica de *Ceriodaphnia dubia* (Crustáceo, Cladóceras) en experimentos de Microcosmos. Tesis Universidad de Chile.
- García, E.; Rodríguez, J.; Fernández, J. (2002). La ingeniería ambiental entre el reto y la oportunidad. Rodríguez, J. (editor). Editorial Síntesis. España, pp.47-89.
- González, A.U. (2012). Acuicultura. Trillas, S.A de C.V. México, D.F. pp. 18-22.
- Gray, N. (1996). Calidad del agua potable: problemas y soluciones. Acribia, Zaragoza. pp. 375

- Guillaume, J.; Kaushik, S.; Bergot, P.; Metailler, R. (2004). Nutrición y alimentación de peces y crustáceos. Ediciones Mundi-Prensa. España, Madrid. pp. 53-73.
- Hansen, J. (1999). Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to copper: neurophysiological and histological effects on the olfactory system. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18 (9):1979-1991.
- Heath, A.G. (1987). *Water pollution and fish physiology*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 245
- Hepher, B. (1993). Nutrición de peces comerciales en estanques. LIMUSA. México, D.F. pp. 250-266.
- Hepher, B.; Pruginin, Y. (1991). Cultivo de peces comerciales. Basado en experiencias de las granjas piscícolas en Israel. LIMUSA. México, D.F.
- Horváth, L.; Tamás, G.; Seagrave, Ch. (2002). *Carp and pond fish culture*. 2ª ed. Blackwell Science. USA. pp. 1-18.
- http://www.minagri.gob.ar/site/pesca/acuicultura/01=cultivos/01especies/_archivos/000007-Sogyo%20y%20Carpa/100331_Cultivo%20de%20carpa.PDF (20 Enero 2017).
- Huet, M. (1998). *Tratado de piscicultura*. 3ª ed. Mundi-Prensa. México, D.F. pp. 181-189.
- Jobling, M. (1994). *Fish bioenergetics*. Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 13, New York. 309.
- Langston, W. J. (1990). Toxic Effects of Metal and the Incidence of Metal Pollution in Marine Ecosystems. In: R. W. Furnes & P. S. Rainbow (Eds.), *Heavy Metals in the Marine Environment*. pp. 256.
- Leland, H.V.; Kuwabara, J.S. (1995). Heavy metals. In: Rand y Petrocelli (Eds). *Fundamentals of aquatic toxicology: Methods and applications*. Hemisphere Publishing Corporation, New York. pp. 374-415.

- Lim, C.; Sealey, W.M.; Klesius, P.H. (1996a). Iron methionine and iron sulfate as sources of dietary iron for channel catfish *Ictalurus punctatus*. J. World Aquacult. Soc. 27: 290-296.
- Lovshin, L.L.; Papma, T.J. (1995). Commercial production of tilapia fry and fingerlings. Situación del cultivo de la tilapia en Panamá. Memorias del simposium Centroamericano sobre el cultivo de tilapia. Pradepesca, Incopesca, Acuacorporacion y Universidad Nacional Heredia Costa Rica. pp. 95-101.
- Mann, E.; Ahlgren, N.; Chisholm, S. (2002). Copper toxicity and cyanobacteria ecology in the Sargasso Sea. Limnology and Oceanography. 47 (4):976-988.
- Maynard, L. (2001). Nutrición Animal. 8ª ed. Mc Graw-Hill, México. pp. 123-134.
- Navarrete, S.N.A.; Fernández, G.E.; Contreras, R.G.; Rojas, B.M. (2000). Policultivo de carpas y tilapia en bordos rurales del Estado de México. Hidrobiología 10(1):35-40.
- Nebel, B. (1999). Ciencias Ambientales: ecología y desarrollo sostenible. 6ª. Ed. Prentice-Hall, México. pp. 698
- Nelson, P. (1996). Concentración de Metales Pesados en Invertebrados, Helófitos y Sedimento del Complejo Estuarial Valdiviano. Tesis, Escuela de Biología Marina. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile. pp. 52
- NRC (National Research Council) (2000). Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press. Washington, D.C.
- NRC. (National Research Council) (1993). Nutrient Requirements of fish. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Paris, B. (2000). Intoxicaciones: Epidemiología Clínica y Tratamiento. Santiago, Universidad Católica de Chile, pp. 302.
- Pérez-Estrada, C.J.; Ricque-Marie, D.; Cruz-Suárez, L.E. (1998). Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18. La Paz, B.C.S., México.

- Perkin Elmer. Co.: (1982). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin Elmer Co. Connecticut, U.S.A.
- Perschbacher, P.W.; Wurts, W.A. (1997). Effects of calcium and magnesium hardness on acute copper toxicity to juvenile channel catfish *Ictalurus punctatus*. World Aquaculture '97. The Annual International Conference and Exposition of the World Aquaculture Society. Seattle, Washington, USA. 556.
- Phillips, D.J.H. (1976). The common mussel *M. edulis*. as an indicator of pollution by Zn, Cd, Pb and Cu. I. Effect of environmental variables on uptake of metals. Mar. Biol., 38: 50-69.
- Pinochet, D.; Aguirre, J.; Quiroz, E. (2002). Estudios de la lixiviación de Cd, Hg y Pb en suelos derivados de cenizas volcánicas. Agro Sur, 30 (1); 51-58.
- Saavedra, M.M.A. (2006). Manejo de Cultivo de Tilapia. Managua, Nicaragua. USAID. Pdf. pp. 3-13. file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Tesis%20Documentos/Manejo-del cultivo de tilapia-cidea.pdf (19 Noviembre 2016).
- Secretaría de Pesca. (1986). Piscicultura de agua dulce manual recetario Bagre-Carpa- Tilapia-Trucha. Pesca. México. pp. 151-156.
- Shepherd, C.J.; Bromage, N.R. (1999). Piscicultura Intensiva. Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 29-36.
- Spiro, T. (2004). Química Medioambiental. 2ª ed. Pearson Educación, Madrid. pp. 504.
- Steel, R.G.B.; Torrie, J.H.: (1995). Bioestadística principios y procedimientos. Mc Graw Hill. 2ª ed. Colombia
- Toledo-Pérez, S.J.; García-Capote, M.C. (2000). Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América Latina y el Caribe. pp 83-137.
- Tortorelli, M.; Hernández, D. (1995). Calidad de Agua de un Ambiente Acuático Sometido a Efluentes Contaminantes. Ecosistemas de Aguas Continentales. Tomo I. Ediciones Sur. La Plata - Argentina. pp. 217-230.

- Treves-Brown, K.M. (2000). Applied pharmacology. Kluger Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 309.
- Vázquez, V.T. (2003). Determinación del estrés producido por el tratamiento terapéutico con sulfato de cobre en *Carassius auratus* (*Pisces: Cyprinidae*). Informe Final de Servicio Social. Licenciatura en Biología. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Depto. El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. 39.
- Wayne, W. D.: (2000) Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. U. T. E. H. A., Noriega Editores. México.