



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

“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN
DE CALCIO, SODIO Y POTASIO EN
CARPAS (*Cyprinus carpio*) DE ESTADO DE MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA

P R E S E N T A N:

JANETH ESTÉVEZ ROSAS
ROBERTO EDSON ELIZALDE SÁNCHEZ

ASESORES:

Dr. BENJAMÍN VALLADARES CARRANZA

Dr. CESAR ORTEGA SANTANA

Dr. VALENTE VELAZQUEZ ORDOÑEZ



Toluca, México, Febrero del 2022.

RESUMEN

Janeth Estévez Rosas y Roberto Edson Elizalde Sánchez. **Determinación de la concentración de calcio, sodio y potasio en carpas (*Cyprinus carpio*)** (bajo la asesoría de: Dr. Benjamin Valladares Carranza, Dr. Cesar Ortega Santana y Dr. Valente Velázquez Ordoñez).

Con el objetivo de determinar la concentración de calcio, sodio y potasio en tejido muscular de carpas (*Cyprinus carpio*), se obtuvieron 180 muestras colectadas por el personal del área de Sanidad Acuícola del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la FMVZ; procedentes de diferentes cuerpos de agua del Estado de México. En el laboratorio, el tejido muscular se colectó durante el examen anatomopatológico en el área de sanidad acuícola, identificándose y guardándose en congelación hasta completar el total de muestras. En el laboratorio, las muestras fueron procesadas a través de digestión ácida (con ácido nítrico y ácido perclórico) hasta el punto en que quedaron aclaradas (color amarillo claro), y dejaron de desprender gas. La lectura de cada mineral se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica con la lámpara específica para el elemento (Ca^{2+} , Na^+ y K^+), de estudio, bajo las condiciones del fabricante, expresando las cantidades en ppm. Para el reporte de resultados, se empleó el método descriptivo, los datos obtenidos se compararon con los valores de referencia. El promedio general obtenido para el caso del calcio (Ca^{2+}) fue de 44.16 ± 3.14 ppm; para el sodio (Na^+) de 321.91 ± 15.14 ppm; y de 162.98 ± 3.20 ppm la concentración de potasio (K^+). Las concentraciones de calcio a partir de las muestras analizadas muestran a 93 (51.66%) ligeramente por arriba del valor de referencia, con un nivel promedio de 46.38 ± 2.77 ppm. y a 36 muestras (20%) con un valor inferior a lo esperado, teniendo un promedio de 40.77 ± 1.07 ppm. Con respecto al potasio se muestra que 103 (57.22%) se encontraron por arriba del valor de referencia, con un promedio de 165.11 ± 2.18 ppm; en contraste con 18 (10 %) muestras, con promedio de 157.33 ± 2.08 ppm. Para el caso del sodio, los valores obtenidos fueron muy marcados en el rango menor con 137 (76.11%) muestras, con un promedio de 317.16 ± 14.33 ppm, y 13 (7.22%), con un promedio de 339.0 ± 1.89 ppm. Por la variabilidad en los resultados obtenidos para los tres minerales analizados Ca^{2+} , K^+ y Na^+ , aunque no hay una dispersión tan notoria, resultaría relevante continuar monitoreando el estado de éstos, considerando diferentes épocas del año (lluvias y secas), la edad y talla de los especímenes, entre otros factores, debido a que la mayoría de los elementos minerales tienen un papel preponderante en la fisiología de todo organismo. La composición química del tejido muscular de los peces puede variar considerablemente entre diferentes especies y entre los individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, sexo, medio ambiente y la época del año.

Palabras clave: Carpas (*cyprinus carpio*), calcio, sodio, potasio.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	vi
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
III. JUSTIFICACIÓN	20
IV. MATERIAL	22
V. MÉTODO	23
VI. HIPÓTESIS	24
VII. OBJETIVO	25
VIII. LÍMITE DE ESPACIO	26
IX. LÍMITE DE TIEMPO	27
X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
XI. CONCLUSIONES	33
XII. LITERATURA REVISADA	34

LISTA DE CUADROS

1. Descripción taxonómica de la carpa	4
2. Límite de tolerancia en iones	5
3. Datos de la biología de la reproducción de la carpa común	7
4. Hábitos alimenticios de la carpa	8
5. Macro minerales y oligoelementos con función nutricional en peces	10
6. Requerimientos nutricionales de macro-minerales (% de la materia seca) y de oligoelementos (ppm) en algunas especies	11
7. Oligoelementos de importancia en el cultivo de la carpa	12
8. Requerimientos de minerales en los peces cultivados en agua dulce	13
9. Concentración general de calcio, sodio y potasio (ppm) en músculo de carpas (<i>Cyprinus carpio</i>)	25
10. Concentraciones de calcio (ppm) en músculo de carpas (<i>Cyprinus carpio</i>).....	26
11. Concentraciones de potasio (ppm) en músculo de carpas (<i>Cyprinus carpio</i>)	27
12. Concentraciones de sodio (ppm) en músculo de carpas (<i>Cyprinus carpio</i>)	28

LISTA DE FIGURAS

1. Estado de México con municipios	23
2. Concentración de calcio (ppm) en músculo de carpa (<i>Cyprinus carpio</i>) del Estado de México	26
3. Concentración de potasio (ppm) en músculo de carpa (<i>Cyprinus carpio</i>) del Estado de México	27
4. Concentración de sodio (ppm) en músculo de carpa (<i>Cyprinus carpio</i>) del Estado de México	28

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de la carpa permite cerrar el ciclo agroindustrial al establecer policultivos, lo que da la oportunidad del aprovechamiento cíclico de las especies que se quieran cultivar como: peces, hortalizas, aves y ganado. Por otro lado, no se debe perder de vista su distribución geográfica, dada la amplia gama de adaptabilidad que presentan estas especies; circunscribiéndose específicamente al altiplano, en donde su cultivo se puede orientar a la satisfacción de propósitos de beneficio social en las comunidades rurales, sobre todo a nivel del poblamiento y repoblamiento (SEDUE, 1989; Pillay, 2002; FAO, 2010; Costello, 2013).

La nutrición mineral es uno de los ámbitos más originales de la nutrición de los peces, ya que estos tienen la posibilidad de extraer los minerales al mismo tiempo del agua y de los alimentos. Sin embargo, la participación de una y otra fuente sigue sin conocerse bien a pesar de que el conocimiento de los mecanismos implicados debería aportar un esclarecimiento de las diferencias posibles entre las especies marinas y dulceacuícolas. Las funciones nutricionales y fisiológicas de los diferentes macro-minerales y de los oligoelementos son similares en peces y animales superiores. Igualmente los datos actualmente disponibles muestran que los requerimientos cualitativos son, en grandes líneas, comparables en ambos grupos. Sin embargo, los datos cuantitativos son escasos y la nutrición mineral constituye el ámbito menos conocido de la nutrición de los peces (Floyd, 2002; Pond y Church, 2003).

En una primera aproximación, y sobre un plano estrictamente económico, puede parecer aceptable ya que los minerales, exceptuando al fósforo, apenas tienen incidencia sobre el coste de la alimentación piscícola. Sin embargo, las materias primas habitualmente utilizadas en la alimentación de los peces (harinas de pescado) y las aguas de las pisciculturas tienen contenidos minerales muy variables. Considerando la importancia de estos elementos en la fisiología general y en el metabolismo, así como sus interacciones con otros nutrientes, se hace necesario definir los requerimientos alimentarios en función de la composición del medio acuático (NRC, 1983; Lovell, 1988; Ortega *et al.*, 2000).

Los peces no como muchos animales terrestres, pueden absorber algunos minerales (elementos inorgánicos) no solo de las dietas sino también de su medio acuático externo. Calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), hierro (Fe^{2+}), zinc (Zn^+), cobre (Cu^+) y selenio (Se^{2+}) generalmente se derivan del agua para satisfacer parte de los requerimientos nutricionales del pez (Hertrampf, 2003).

Los elementos inorgánicos son requeridos para el proceso normal de vida del pez. Sus funciones principales incluyen la formación de estructuras esqueléticas, transferencia de electrones, regulación del equilibrio ácido-básico y osmoregulación. Los minerales son también componentes importantes de enzimas y ellos activan las mismas. Mecanismos complejos bioquímicos controlan y regulan la absorción, almacenamiento y excreción de varios elementos inorgánicos, permitiendo que el pez viva en un equilibrio dinámico con su medio acuático. Los electrolitos Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- y HCO_3^- juegan un mayor rol en la regulación osmótica e iónica de los fluidos extra e intracelulares en el pez. El intercambio de iones desde el agua circundante a través de las branquias y la piel del pez complican la medición de los requerimientos minerales (Jhingran, 1985; Yamamoto *et al.*, 2002; Vásquez, 2004; CIFA, 2010).

Por lo que el objetivo del presente trabajo fue evaluar la concentración mineral de calcio, sodio y potasio en tejido muscular de carpas de diferentes áreas productoras de esta especie en el Estado de México, para contribuir en los datos referentes a elementos minerales de importancia tanto en la nutrición como en el contenido de esta especie acuícola que es incluida en la dieta de los habitantes de la zona.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

La Ciprinocultura es un conjunto de técnicas biológicas aplicadas al cultivo de las carpas. Esta especie no tiene limitaciones en cuanto a su distribución climática, ya que se le encuentra tanto en regiones subtropicales como templadas del país y se caracteriza por su resistencia a los cambios ambientales, facilidad en el manejo, alto índice de fecundidad, crecimiento rápido, adaptabilidad al encierro y aprovechamiento del alimento natural; lo que la hace ideal para el policultivo; además de aceptar alimentación complementaria en cautiverio. Otra de sus ventajas significativas la constituye el hecho de no requerir instalaciones costosas para su cultivo, ya que todas las variedades se adaptan a la estanquería rústica y algunas se pueden producir en jaulas (Billard, 1999; Pillay, 2002).

Los primeros trabajos referidos al manejo de la carpa con fines productivos se efectuaron en China, en donde fueron descritos por el general Fan-Li en el año 475 a.C., lo que confiere a la familia de los ciprínidos la categoría de ser una de las especies con más larga historia dentro de la piscicultura de agua dulce (Molina-Astudillo *et al.*, 2003).

Alrededor de 1150 se introdujo al Continente Europeo, a través de la isla de Chipre, que es precisamente de donde recibe el nombre de “género *Cyprinus*”; más tarde, en 1860, se encuentra ya en la mayoría de los países europeos (Cutler *et al.*, 1995; Barcelo, 2000).

La primera especie introducida en México fue la carpa común (*Cyprinus carpio*), entre los años de 1872 y 1884; posteriormente se incorporaron otras especies, como la carpa de Israel (1950) y las carpas chinas (herbívoras, plateada y cabezona) a principios de los años sesentas (FAO, 2010).

Para 1981 el Programa Nacional de Acuicultura, del Departamento de Pesca, declara a la carpa como especie de interés público y social por corresponder a bienes de consumo popular cuya explotación se permite la integración de ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios en unidades de producción para la obtención y comercialización de productos con alto rendimiento económico. A través del mismo programa se define la talla mínima de siembra (7 cm) y se inicia la construcción de estanquería rústica en comunidades rurales, complementándola con la introducción de jaulas flotantes. De conformidad a los esfuerzos que a la fecha se han realizado, tendientes a desarrollar la Ciprinocultura en el país, es deseable que las acciones se continúen en ese orden, a efecto de aprovechar la infraestructura existente para contribuir al incremento de los posibles beneficios en las áreas rurales (FAO, 2010).

BIOLOGÍA DE LA ESPECIE

Descripción morfológica. La carpa o carpa común (*Cyprinus carpio*) es una especie perteneciente a la familia de los ciprínidos, dentro del orden de los Cypriniformes (Cuadro 1). La familia de las carpas, se caracteriza por agrupar el mayor número de representantes de agua dulce, con 275 géneros y más de 1,500 especies, que por lo general presentan forma y talla variables, llegando a alcanzar entre 90 y 150 cm de longitud (Nielsen *et al.*, 1983).

Cuadro 1. Descripción taxonómica de la carpa.

Phylum	Vertebrata
Subphylum	<i>Gnathostomata</i>
Clase	Pisces
Subclase	Teleostomi
Orden	<i>Cypriniformes</i>
Suborden	<i>Cyprinoidea</i>
Familia	<i>Cyprinidae</i>
Subfamilias	<i>Leuciscinae</i> <i>Cyprininae</i> <i>Hypophthalmichthyna</i>
Géneros	<i>Mylopharyngodon</i> <i>Ctenopharyngodon</i> <i>Cyprinus</i> <i>Hypophthalmichthys</i> <i>Aristichthys</i>
Nombre Común	Carpa
Nombre científico	<i>Cyprinus carpio comunis</i>

Fuente: Billard (1999).

Presentan mandíbulas desprovistas de dientes, membranas branquiales unidas y uno o dos pares de barbillas que en algunas especies están ausentes. Dimorfismo sexual ocasionalmente muy marcado en el macho, sobre todo en la época de celo, que es cuando adquiere una coloración brillante, acentuándose los tubérculos prenupciales sobre la cabeza, opérculos y dorso de las aletas pectorales (Gulland, 1971; Billard, 1999;).

En México se han introducido 99 especies a las que se les dan calificativos distintos, dependiendo del medio acuático en el que se desarrollan, el tipo de alimentación o bien de sus hábitos reproductivos. También existen especies nativas, conocidas como sardinitas de agua dulce; las más representativas son la popocha y la acuamara. De todas ellas, una de las de mayor importancia en las aguas dulces mexicanas, es la carpa común (Sánchez *et al.*, 1987; Vázquez, 2004).

Características generales. Es originaria de Asia y se considera como una de las especies más populares a nivel internacional. Presenta cuerpo robusto cubierto por gruesas escamas que en el medio natural brillan intensamente; la coloración del cuerpo es verde olivo en el dorso y amarillo en el vientre, con variaciones muy marcadas según el hábitat. Tienen dientes faríngeos y acepta todo tipo de alimentación (Molina- Astudillo *et al.*, 2003; FAO, 2010).

Distribución geográfica. Las carpas son peces cosmopolitas; es la familia más numerosa cuyos representantes revelan una fuerte independencia hacia el hábitat de agua dulce, ya que son incapaces de tolerar el agua salada. En el territorio nacional tiene una amplia distribución. Se les encuentra en un 80% de los cuerpos de aguas dulces mexicanas, a los cuales se han adaptado con mucho éxito, sobre todo en los Estados de Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, Tlaxcala, Estado de México, Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Zacatecas, Aguascalientes, Durango y Michoacán (SEDUE, 1989; Pillay, 2002).

Hábitat. Son especies que se adaptan a todos los climas, aunque generalmente se desarrollan en las aguas templadas de los ríos, presas, lagos, charcos temporales, en donde pueden soportar condiciones adversas de los factores fisicoquímicos del agua. Así, tenemos carpas propias de medios lenticos (aguas quietas); escamuda, espejo y barrigona, con mucha semejanza en sus hábitos alimenticios y reproductivos; y las adaptadas a los medios loticos (aguas corrientes): herbívora, plateada, negra y cabezona (Gulland, 1971; Steffens, 1987; Weathon, 1992; Billard, 1999).

Requerimiento del ambiente. Los parámetros fisicoquímicos y biológicos son los que determinan la calidad del agua (Cuadro 2), y por ende ejercen una acción específica sobre el desarrollo de las especies de cultivo. Algunos de estos factores más representativos son la temperatura, el oxígeno, el pH y la transparencia

Los requerimientos fisicoquímicos del agua, óptimos para el cultivo de la carpa, son: Temperatura de 22-25 °C, Oxígeno disuelto mayor de 3 mg/l, un pH de 7 a 8, y una transparencia: 30-45 cm (Becker, 1992).

Cuadro 2. Límite de tolerancia en iones.

Elemento	Tolerancia	Elemento	Tolerancia
Amoniaco	0.3 mg/l	Cobre	0.02 mg/l
Ácido nítrico	0.3 mg/l	Cianuro	0.025 mg/l
Aluminio	0.2 mg/l	Hierro	0.5 mg/l
Arsénico	1.0 mg/l	Plomo	0.1 mg/l
Bario	5.0 mg/l	Zinc	0.1 mg/l
Cadmio	0.05 mg/l	Fenol	0.2 mg/l
Cromo hexavalente	0.5 mg/l	Saturación de oxígeno	105 %
Cromo trivalente	1.0 mg/l	Saturación de nitrógeno	105 %

Fuente: CIFA (2010).

Temperatura. Influye directamente en cada una de las etapas de desarrollo del pez. Las carpas prefieren temperaturas de 22 a 25 °C, consideradas como óptimas, aunque resisten rangos mínimos de 17 y máximos de 30 °C, que en periodos prolongados llegan a ocasionar trastornos de tipo fisiológico (Beker, 1992; Cuttler *et al.*, 1995; CIFA, 2010).

Oxígeno. Para que las actividades vitales de los peces se realicen sin alteraciones, el oxígeno es la causa principal de la mortandad de los peces, ocasionada principalmente por la caída de materia orgánica sobre el fondo del estanque, a lo cual se agrega, también, el excesivo desarrollo de fitoplancton (plantas microscópicas) provocando la sobrefertilización del estanque, especialmente cuando se utilizan estiércoles u otro tipo de desechos orgánicos. El abuso en el suministro de alimentos suplementarios, que son digeridos parcialmente por los peces, ocasiona efectos semejantes. Se ha determinado que el nivel de oxígeno óptimo para la carpa va de 5 a 7 mg/l cuidando que no caiga por debajo de 3 mg/l (De Boerk *et al.*, 2001).

pH. Este parámetro está directamente relacionado con la naturaleza del terreno, por lo que deben tomarse lecturas constantes durante el día, ya que la actividad fotosintética puede provocar variaciones significativas. Una sola lectura tomada antes del amanecer puede indicar la incapacidad o inconveniencia del agua para cultivar peces, pero no la conveniencia. Normalmente tiene aceptación el hecho de que los extremos (mínimos y máximos) del pH son tóxicos para los peces. Sin embargo, las opiniones se dividen entre los autores con respecto a cuáles son, exactamente, esos niveles tóxicos para la carpa (David *et al.*, 2003; Yilmaz *et al.*, 2005).

Hábitos reproductivos. En el medio natural, la reproducción ocurre durante el verano, cuando la temperatura se mantiene entre los 18 y 25 °C. Así, tenemos que la carpa común, se reproduce una vez al año en forma naturalmente durante los

meses de febrero a marzo. Los machos maduran sexualmente a los 18 meses y las hembras a los 24, son capaces de producir de 700 mil a un millón de huevecillos (McCormik, 1995).

El índice de fecundidad y la viabilidad de los huevecillos dependen fundamentalmente de la especie, de las características genéticas de los progenitores, su nutrición, peso, talla, estado de salud y origen, esto es, si se obtuvieron por captura silvestre, compra o donación. De cualquier manera deberán ser sometidos a un riguroso proceso de selección que considere los siguientes aspectos: las hembras se diferencian de los machos por presentar el abdomen abultado y suave, así como la abertura genital protuberante con una coloración rosada; los machos, por su parte, arrojan líquido seminal cuando se les oprime el abdomen, les aparecen los tubérculos (puntos blancos) en ambos lados de la cabeza. Cuando se han detectado todas estas características, los reproductores seleccionados son separados en estanques de confinamiento, con agua de buena calidad que cumpla con los requerimientos ambientales de la especie, procediéndose a la reproducción en forma natural o artificial (Cuadro 3) (Aguilera y Zarza, 1988; Andrades *et al.*, 1996; Gavara and Sarasque, 1999; Nathaniel and Edirisinghe, 2001; Lall and Lewis, 2007).

ALIMENTACIÓN

Un factor importante en el cultivo, no tan sólo de las carpas, sino de los peces en general, es la nutrición. Efectuar una correcta alimentación de los peces permite obtener buenos rendimientos en lapsos cortos de tiempo; asimismo una adecuada alimentación a los reproductores garantiza un desove óptimo y un índice de fecundidad alto (Hans and Van Kapenhout, 2006).

Existen dos métodos de alimentación:

- a). Alimentación directa o artificial, donde se agregan insumos alimenticios que serán consumidos por los peces
- b). Alimentación indirecta o natural, que se realiza mediante la fertilización de los estanques (Steffens, 1987).

Cuadro 3. Datos de la biología de la reproducción de la carpa común

Datos	Carpa común
Edad en la que alcanzan la madurez sexual	Macho: 1-2 años Hembra: 2-3 años
Talla promedio de los adultos maduros sexualmente	Macho: 25-30 cm. Hembra: 30-40 cm.
Número de huevos promedio	80,000 – 100,000/kg
Época de reproducción	Febrero (época natural) Enero-Octubre: (inducida)
Conducta social durante la reproducción	Agrupamiento de reproductores de varias edades y tallas
Características de las zonas de desove en el medio natural	Ríos y arroyos con fondo de grava y corrientes rápidas
Cuidados de los progenitores hacia sus crías	Ninguno
Tamaño del huevo	1-1.5 mm (recién fecundados) 1.5-2.5 mm (hidratado) 4.0-5.0 mm (Técnica de Woynarovich)
Número de huevos recién fecundados por kg	80,000-100,000
Numero de huevos hidratados en un litro	80,000-120,000
Duración del desarrollo embrionario hasta la eclosión del alevín	44-46 horas a 23 °C
Duración del proceso de reabsorción de la vesícula vitelina	3-4 días, dependiendo de la temperatura del agua
Talla en que alcanza los hábitos alimenticios propios de su especie.	50 mm

Fuente: Nathaniel and Edirisinghe (2001).

En sistemas intensivos y semi intensivos la alimentación artificial representará la fuente más importante de nutrientes. En comparación a sistemas que contemplan baja densidad de carpas por m², el alimento natural puede representar hasta el 100% de los nutrientes. Esto se logra mediante la fertilización orgánica o inorgánica de los estanques (Nielsen *et al.*, 1983).

Lo fundamental en la nutrición es lograr un adecuado índice de conversión alimenticia, esto es: la cantidad de alimento que se utiliza para producir un kilogramo de pescado. Entre más bajo sea éste, se demuestra que el alimento es de buena calidad; generalmente una proporción de 2 a 1 es muy satisfactoria. La alimentación de la carpa es muy variada, ya que presenta hábitos alimenticios que van desde los herbívoros, malacófagos, detritófagos u omnívoros, según la especie (Cuadro 4).

También aceptan alimento artificial, lo que concede ventajas para su cultivo (Pyles *et al.*, 2002; Mohsen y Mamdouh, 2006).

La carpa común es omnívora, con tendencia detritófaga, acepta subproductos vegetales y animales, lo mismo que pequeños organismos acuáticos que habitan en el fondo del estanque (Guillaume *et al.*, 2002).

Cuadro 4. Hábitos alimenticios de la carpa.

Especie	Hábitos alimenticios como adultos	Hábitos alimenticios como crías
Carpa de Israel	Omnívora bentófaga	Zooplanctófaga
Carpa dorada	Omnívora detritófaga	Zooplanctófaga
Carpa barrigona	Bentófaga	Zooplanctófaga
Carpa plateada	Fitoplanctófaga	Zooplanctófaga
Carpa negra	Malacófaga	Zooplanctófaga
Carpa cabezona	Zooplanctófaga	Zooplanctófaga
Carpa brema	Omnívora	Zooplanctófaga
Carpa común	Omnívora	Zooplanctófaga
Carpa herbívora	Herbívora	Zooplanctófaga

Fuente: Guillaume *et al.*, (2002).

Lo anterior nos hace ver la importancia que juega la fertilización orgánica e inorgánica en el cultivo de la carpa. Porque un estanque bien fertilizado producirá la cantidad suficiente de fitoplancton y zooplancton para apoyar el crecimiento de los peces. Además de la fertilización, se les puede suministrar alimento complementario de origen vegetal, animal o seco concentrados. Los principales alimentos vegetales son: semillas de leguminosas, gramíneas, salvados, harinas y hojas de plantas acuáticas o terrestres. Entre los de origen animal se encuentran: pescado picado, molido o en harina, sangre seca, vísceras de cerdo, res, pollo, así como moluscos y crustáceos que estén al alcance del productor (Nathaniel, 2001).

Estos dos tipos de alimentos son los más recomendables porque existen en abundancia, son económicos y cumplen con la función de nutrir organismos desde la fase de cría hasta la de engorda. El otro alimento es el artificial, compuesto, seco concentrado; se hace a base de mezclas de diferentes componentes en proporción adecuada de vitaminas, proteínas, carbohidratos y grasas, que dotan a los peces de una dieta balanceada para su crecimiento y engorda. Su inconveniencia son los precios que alcanzan en el mercado y que elevan los costos de producción de un 40 a un 60%. La tasa de alimentación depende del tamaño de las carpas, ya que conforme éstas sean más grandes, el ritmo de crecimiento es menor y también el consumo de alimento. De aquí que para las crías de 4 cm. Se recomienda un 10%

de la biomasa al día; 5% para las de talla mínima (7 cm); el 3% en juveniles, hasta llegar a un 2% para las adultas (Filk y Verbost, 1993; Vázquez, 2004; Ajani, 2012).

Fertilizantes inorgánicos. Este tipo de fertilizantes estimula el crecimiento del fitoplancton, pero tiene la limitante de que su costo en el mercado es elevado. Las características de cada fertilizante dependen del grado de concentración (%) en peso de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En piscicultura se ha generalizado el uso del 20-20-5®. Otros fertilizantes de uso común con el superfosfato y el sulfato de amonio. La medida más confiable para plantear la tasa de aplicación del fertilizante es la transparencia. Mientras ésta no sea mayor de 40 cm., no se debe aplicar ningún fertilizante (Kemmer y MacCallion, 1997).

La alimentación suministrada determina los niveles de producción y ésta puede ser de tres tipos a elegir: 1). Alimento balanceado, 2). Esquilmos, 3). Aprovechamiento de la fertilidad del embalse. Si se utiliza alimento balanceado se requerirán para el periodo de cultivo establecido (7.5 meses), considerando una conversión alimenticia de 3:1. Hay que considerar que las densidades, así como los rendimientos, varían de acuerdo a las condiciones ecológicas que prevalezcan en la zona (Holding, 2006).

Como pez de fondo suele utilizarse la carpa común, que presenta la característica de adaptarse con facilidad a situaciones adversas del medio, como son: hacinamiento y alteraciones de los factores físico-químicos del agua (NRC, 1983 y 1993).

ASPECTOS ECONÓMICOS DEL CULTIVO

A diferencia de la pesca extractiva, la acuicultura presenta mejores perspectivas en cuanto al impacto y los beneficios socioeconómicos en las áreas rurales, tales como: la creación de nuevas fuentes de ingreso, el mejoramiento de la dieta y nutrición de adultos y niños en áreas aisladas, la relocalización de la población, el arraigo a la tierra y la diversificación en los usos de la tierra y agua. Adicionalmente se tiene que contemplar la acuicultura empresarial, sustentada en unidades de producción a gran escala industrial (Billard, 1999).

El cultivo de las carpas en México constituye una importante fuente de proteína animal debido a las múltiples características que presentan estos peces y que satisfacen los requerimientos necesarios para su cultivo bajo condiciones controladas, sus principales características son:

1. Su elevada tasa de crecimiento
2. La adaptabilidad a diferentes artefactos de cultivo, estanques, jaulas, bordos, encierros

3. La aceptación de alimento suplementario derivado de subproductos agrícolas y desechos agroindustriales
4. La alternativa de poder establecer policultivos (Cordero, 1986; Orvay, 2013).

NUTRICIÓN MINERAL

Al igual que los animales terrestres, los peces tienen requerimientos de minerales como constituyentes 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 macro-minerales y catorce oligoelementos con una función fisiológica en la mayor parte de los animales (Cuadro 5). Sin embargo, tanto en peces como en crustáceos, sólo se ha establecido un claro requerimiento nutricional cualitativo para once de ellos (Bloomfield, 2001).

Cuadro 5. Macro minerales y oligoelementos con función nutricional en peces.

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

Fuente: Bloomfield (2001).

La capacidad de los peces, de absorber los minerales a partir del agua, ha frenado la adquisición de conocimientos. La nutrición mineral de los animales acuáticos es precisamente el ámbito en el que los conocimientos son más fragmentarios. Las funciones de los macro-minerales y oligoelementos son muy diversas, desde una función plasmática (construcción tisular) hasta una función catalítica (actividades enzimáticas), los contenidos tisulares y los requerimientos cuantitativos son muy heterogéneos (David *et al.*, 2003; Pond y Church, 2003).

Particularidades de la nutrición mineral. Los mecanismos de absorción intestinal varían según el elemento considerado: difusión pasiva, transporte activo con o sin intervención de ligandos específicos (Lawson, 1995).

Para el hierro, la absorción de los aportes alimentarios se efectúa mediante unión a una proteína presente en el mucus intestinal (par apoferritina- ferritina). Sin embargo, parece posible una absorción a través de las branquias. Para otros elementos (zinc y cobre), existen mecanismos similares, pero se conoce muy mal la importancia respectiva de las vías branquial e intestinal. Solamente que la absorción global de los oligoelementos, en un pez adaptado, corresponde a una regulación homeostática; las subcarencias conllevan a una mayor eficacia de los mecanismos de absorción, mientras que los ligeros excesos tienen el efecto opuesto. A todo esto, se añaden problemas de disponibilidad debidos tanto al animal (estado, especie) como a la forma de aporte y a las numerosas interacciones que existen tanto entre los propios elementos como entre los alimentos y otros constituyentes de la ración (Yilmaz *et al.*, 2005).

Las vías de eliminación también son múltiples: excreción renal, eliminación branquial, biliar y fecal, o eventualmente epidérmica (Burton, 1986).

Interacciones entre medio, aportes nutricionales y requerimientos. En el medio acuático, el control del aporte alimentario está íntimamente ligado a la capacidad de absorción (branquias, piel, vía oral) a partir del medio ambiente. Los animales acuáticos son los únicos capaces de encontrar un cierto número de macrominerales (Na, Cl, K y Ca) y de oligoelementos (Fe, Zn, Mn, Mg, Cu, I y Co) al margen de su alimentación (Flik *et al.*, 1983).

En el agua dulce, en el medio exterior es fuertemente hipotónico en relación con el medio interior. La diferencia de presión osmótica conlleva una pérdida de sales y una absorción de agua a través de la piel con eliminación renal de una orina muy diluida, aunque muy abundante en volumen (alrededor de 100 mg/kg/día). A nivel branquial, la pérdida de sodio se ve compensada por una eficacia aumentada de la bomba de sodio. Las concentraciones en minerales disueltos suelen ser escasas y sobre todo muy variables; el papel de los aportes alimentarios es muy importante (Roberts, 1978).

En el agua salada, el medio exterior es muy hipertónico en relación con el medio interior. La presión osmótica conlleva a una deshidratación y una absorción muy importante de sales a través de los tegumentos. De ello, se deriva la necesidad de absorber por vía oral grandes cantidades de agua. Al ser salada, está muy ionizada, y este exceso de iones se elimina por vía renal (con una orina muy concentrada), por vía branquial (preponderante el Cl^- y el Na^+), así como vía

intestinal, para los iones divalentes. La posibilidad de aporte de minerales por el medio es seguramente mucho mayor que en el medio dulce acuícola ya que el contenido en sales minerales disueltas es mucho más elevado y casi siempre constante, obligando a los peces a beber continuamente para mantener su equilibrio osmótico (Guillaume *et al.*, 2002).

En estas condiciones, la definición de requerimiento alimentario es muy delicada. Se permite por lo general llamar requerimiento al aporte que permite al animal efectuar un depósito óptimo en sus tejidos, incluso si el aporte a través del agua es nulo (Cuadro 6) (Ashley, 1972).

Cuadro 6. Requerimientos nutricionales de macro-minerales (% de la materia seca) y de oligoelementos (ppm) en algunas especies.

Especie	P	Ca	Mg	K	Zn	Mn	Co	Cu	Fe	Se
Pez gato americano	0,45	0,45*	0,04	0,26	20	2,4		5	30	0,25
Carpa común	0,65	0,3	0,05		25	13	0,10	3	150	
Tilapia	0,90	0,65*	0,06		10	12		3,5		
Trucha	0,5-0,8	0,03-0,24	0,05		15-20	12		3		0,15-0,4

*agua sin Ca²⁺. Fuente: Ashley (1972), Guillaume *et al.*, (2002), Webster y Lim (2002).

Oligoelementos. Las principales funciones, los síntomas carenciales y las fuentes de oligoelementos se resumen en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Oligoelementos de importancia en el cultivo de carpa.

Oligoelementos	Fuentes	Funciones	Interacciones	Síntomas carenciales
Hierro	Agua (-) Materia s primas de origen animal (harinas de sangre) FeCl ² FeSO ⁴ Citrato	Proteínas: hemoglobina, mioglobina, citocromos Respiración, coagulación Enzimas: peroxidasas, catalasas	Cu, Co, Mn, Zn, ácido fítico, HUFA	Anemia (con disminución de hematocrito) Hígado amarillo Concentraciones tisulares Oxidación de lípidos

Determinación de la concentración de calcio, sodio y potasio en carpas (*Cyprinus carpio*) de Estado de México

Cobre *	Agua (+) CuSO ⁴ Materias primas de origen animal	Enzimas (cuproenzimas): → citocromo oxidasa, SOD, tirosinasa Transporte de electrones, de oxígeno: → hemocianina (crustáceos)	Vit. C, Zn, Se, Fe	Disminución del crecimiento Cataratas Sensibilidad a infecciones
Zinc	Agua (-) Materias primas de origen animal ZnSO ⁴	Enzimas: → deshidrogenasas, Peptidasas, aldolasa, dismutasa	Ácido fólico, Ca, P	Disminución del crecimiento Cataratas, enanismo Hemorragias externas Disminución de la fecundidad
Manganeso	Agua Materias primas de origen animal MnSO ₄	Co-factor enzimático	Ca, P, ácido fólico	Disminución del crecimiento Anomalías esqueléticas Disminución de la actividad enzimática Disminución de la fecundidad
Selenio	Agua Harina de pescado Na ² SeO ³	Prevención de la auto oxidación de los lípidos, co-factor de la SOD, glutatión peroxidasa	HUFA, vit. E.	Peroxidación de los lípidos Disminución de la resistencia a los patógenos Disminución de la actividad de las enzimas
Yodo	Agua (+)	Hormonas tiroideas		Hiperplasia de la tiroides

(-) fuente secundaria (+) fuente principal. *Toxicidad: >700 g/kg de alimento y 0.8 - 1 g/lit en el agua. Fuente: NRC (1983 y 1993).

El calcio y el fósforo están directamente más involucrados en el desarrollo y crecimiento del esqueleto y ellos desempeñan un papel en algunas reacciones

bioquímicas. La absorción de calcio se da directamente desde el agua a partir de las branquias y la piel. Los requerimientos de calcio están determinados por la composición química del agua (Aguilera y Zarza, 1988; Filk y Verbost, 1993).

El fósforo se deriva a partir de la dieta como fosfatos. La deficiencia de fósforo incluye signos como bajo crecimiento, reducida eficiencia alimentaria y deformidades en hueso. El magnesio funciona como un cofactor enzimático. El requerimiento dietario puede ser obtenido a partir del agua o el alimento. Las deficiencias de magnesio causan anorexia, disminución en el crecimiento, letargia, deformidad vertebral, degeneración celular y convulsiones (Boyd, 1982).

El sodio, potasio y cloro son electrolitos. El sodio y cloro se encuentran en el fluido extracelular. El potasio se encuentra dentro de las células como un catión intracelular. Ya que la abundancia de estos elementos en el ambiente, es difícil que los signos de deficiencia se produzcan (Cuadro 8) (Sánchez y Navarrete, 1987).

Cuadro 8. Requerimientos de minerales en peces cultivados en agua dulce.

Mineral	Requerimiento (kg de alimento seco)
Calcio	5 g
Fósforo	7 g
Magnesio	500 mg
Sodio	1-3 g
Potasio	1-3 g
Azufre	3-5 g
Cloro	1-5 g
Hierro	50-100 mg
Cobre	1-4 g
Manganeso	20-50 mg
Cobalto	5-10 mg
Zinc	30-100 mg
Yodo	100-300 mg
Molibdeno	Vestigios
Cromo	Vestigios
Flúor	Vestigios

Fuente: NRC (1983 y 1993), Webster y Lim (2002).

Los microminerales están presentes en pequeñas (micro) cantidades en el cuerpo del pez, pero aun así son importantes para la salud del pez. Los microminerales incluyen: cobre (Cu), yodo (I), hierro (Fe), manganeso (Mn), selenio (Se) y Zinc (Zn) (Gavara y Sarasque, 1999; Nathaniel y Edirisinghe, 2001).

El cobre forma parte de algunas enzimas y es requerido para su actividad. Mientras es requerido por el pez, el cobre puede ser tóxico en concentraciones de 0.8 a 1.0 µg por litro en el agua. Los peces toleran más el cobre disponible en el pienso que el que se encuentra en el agua. El yodo es necesario para la formación de hormonas desde la glándula tiroides. El pez puede obtener yodo a partir del agua o el pienso. Similar a los animales terrestres, una deficiencia causa que la glándula tiroides crezca (Bernet *et al.*, 2004; Kjos *et al.*, 2005).

El hierro es necesario para la formación de los componentes del grupo hemo. Estos componentes transportan oxígeno. Las aguas naturales son bajas en hierro, el pienso es considerado la mayor fuente de hierro. La deficiencia de hierro causa una forma de anemia. En altos niveles de hierro puede ser tóxico y causar disminución en el crecimiento, diarrea, daño hepático y muerte (Matsusasto, 1986; Bernet *et al.*, 2004).

Las funciones del manganeso como una parte de enzimas o como cofactor. Mientras que este puede ser absorbido desde el agua, este es más eficientemente absorbido desde el alimento. Una deficiencia causa disminución en el crecimiento y anomalías en el esqueleto (Halver y Hardy, 2002; Cahu *et al.*, 2003).

El selenio es un protector celular y de membranas contra el peligro de los peróxidos. Las deficiencias de selenio causan disminución en el crecimiento. Ambos, el selenio y la vitamina E se requieren para prevenir la distrofia muscular en algunas especies. Cuando el selenio dietario excede 13 o 15 mg/kg de materia seca este llega a ser tóxico, resultando en una disminución en el crecimiento, pobre y baja eficiencia alimenticia y muerte (Hepher, 1993; Albert, 1995; Valladares-Carranza *et al.*, 2013).

El zinc es también parte de numerosas enzimas. El zinc dietario es más eficientemente absorbido que el que se encuentra disuelto en el agua. El calcio y el fósforo dietario, el ácido fítico en algún tipo de proteína, una forma de zinc, todos afectan la absorción y uso del zinc. Una deficiencia de zinc causa depresión en el crecimiento, cataratas, erosiones en aletas y piel, enanismo y muerte (Dange, 1986).

El calcio promueve el complejo de zinc a fitatos. La biodisponibilidad de zinc en la harina de pescado es inversamente relacionadas con el contenido de fosfato tricálcico. Esto es presuntamente causado por la absorción del zinc dentro de complejos insolubles de fosfato cálcico en el intestino que se transportan directamente al intestino no absorbido y excretados (Peteri *et al.*, 1992; Albert, 1995).

CALCIO (Ca²⁺).

El calcio es el quinto elemento y el tercer metal más abundante en la corteza terrestre. Los compuestos de calcio constituyen 3.64% de la corteza terrestre. La distribución del calcio es muy amplia; se encuentra en casi todas las áreas terrestres del mundo. Este elemento es esencial para la vida de las plantas y animales, ya que está presente en el esqueleto de los animales, en los dientes, en la cáscara de los huevos, en el coral y en muchos suelos. El calcio es el componente principal de la dureza del agua, se encuentra como carbonato de calcio en una rango de 5-500 mg/lit y está presente en minerales como la piedra caliza y en el yeso (Kemmer y MacCallion, 1997; Webster y Lim, 2002).

Contaminación Ambiental. El metal producido en forma comercial reacciona fácilmente con el agua y los ácidos, produciendo hidrogeno que contiene cantidades notables de amoniaco e hidrocarburos como impurezas. El calcio es un constituyente invariable de todas las plantas, ya que es esencial para su crecimiento, lo contienen como constituyente estructural y como ion fisiológico. El calcio se encuentra en el tejido blando y en la estructura del esqueleto de todos los animales. Los huesos de los vertebrados contienen calcio en forma de fluoruro de calcio, carbonato de calcio y fosfato de calcio. El fosfato de calcio presente en los ecosistemas acuáticos es muy toxico para la biota existente (Ortega *et al.*, 2000; Lloyd, 2003).

Efectos sobre la salud humana. El excesos de Ca²⁺ durante un tiempo prolongado puede producir estreñimiento, aumentar el riesgo de formación de cálculos renales y alteraciones renales e interferir en la absorción de otros minerales como hierro y zinc (Roberts, 1981).

Está íntimamente relacionado con el desarrollo y mantenimiento del sistema esquelético ya que, como en el resto de los vertebrados, éste está constituido por una sólida base de fosfato cálcico. A diferencia de los animales terrestres, en los que el hueso es el principal lugar de regulación del Ca²⁺, en los peces el metabolismo y la deposición de este mineral se lleva a cabo principalmente en las escamas, siendo la tasa de intercambio de Ca²⁺ en estas estructuras tres veces superior a la de los huesos (Walsh, 1998).

El Ca²⁺ uno de los cationes más abundantes en el cuerpo de los peces. Además de su importancia en la formación y el mantenimiento del sistema esquelético, el Ca²⁺ desempeña un papel fundamental en la contracción muscular, la coagulación sanguínea y la transmisión nerviosa, el mantenimiento de la integridad de las membranas celulares y la activación de importantes enzimas. Como integrante de las membranas celulares el Ca²⁺ se une a fosfolípidos

controlando la permeabilidad de la membrana y, por tanto, regulando la captación de nutrientes por parte de la célula (FOEA, 2012).

El intercambio gaseoso a través de las branquias proporciona a los peces un acceso continuo a un reservorio ilimitado de Ca^{2+} . Así la mayor parte de las necesidades de Ca^{2+} de los peces son satisfechas gracias a su capacidad para absorber este elemento directamente del ambiente acuático. En peces marinos, las aletas y el epitelio oral también intervienen en este proceso, pero es a nivel branquial donde se produce la principal regulación de la entrada y salida de Ca^{2+} , tanto en peces marinos como continentales. No obstante, se ha observado que tanto los niveles de Ca^{2+} como la concentración de este elemento en el agua influyen sobre la proporción relativa de Ca que es captada por branquias o a través del tracto gastrointestinal (Horvâth *et al.*, 2002).

SODIO (Na^+).

El sodio es un metal alcalino, suave, reactivo y de bajo punto de fusión. Desde el punto de vista comercial, el sodio es el más importante de los metales alcalinos. Todas las sales de sodio son muy solubles en el agua, aunque ciertos complejos con los minerales no lo son. El alto contenido de cloruros en el agua de mar generalmente están asociados con el ion Na^+ (Molina-Astudillo *et al.*, 2003).

Junto con el cloro componen los principales electrolitos presentes en los fluidos extracelulares. Participa en la regulación de la presión osmótica y del equilibrio ácido-base (FOEA, 2012).

Contaminación ambiental: este compuesto químico no es móvil en su forma sólida, aunque absorbe la humedad muy fácilmente. Una vez líquido, el sodio se filtra rápidamente en el suelo, con la posibilidad de contaminar las reservas de agua (Holding, 2006).

Efectos sobre la salud humana: El sodio es un componente en muchas comidas, por ejemplo la sal común. Este elemento es necesario para los humanos para mantener el balance de los sistemas de fluidos físicos. El sodio es también requerido para el funcionamiento de nervios y músculos. Un exceso de sodio produce lesiones en riñones e incrementa las posibilidades de hipertensión (Mancini, 2002).

El Na^+ es el principal ión monovalente de los fluidos extracelulares, los iones de sodio constituyen el 93% del total de los iones (bases) encontrados en el torrente sanguíneo. Aunque el principal papel del sodio en los animales está asociado con la regulación de la presión osmótica y el mantenimiento del balance ácido-base,

también ejerce un efecto en el proceso de irritabilidad muscular y juega un papel específico en la absorción de carbohidratos (FAO, 2010).

POTASIO (K⁺).

El potasio (K⁺) es un metal alcalino, extremadamente blando y químicamente reactivo. Está relacionado con el sodio, tanto que rara vez se analiza como un componente separado en el análisis del agua. Su ocurrencia es menor en la naturaleza y por esta razón se encuentra en concentraciones más bajas que el sodio. No tiene importancia en las fuentes de agua de uso público o en el agua que se utiliza para la industria (Kemmer y MacCallion, 1997).

Contaminación ambiental. Como tal, el K⁺ es requerido en proporciones relativamente elevadas por las plantas en desarrollo, pero elevados niveles de potasio soluble en el agua pueden causar daños a las semillas en germinación ya que inhiben la toma de otros minerales y reducen la cantidad de cultivo (Holding, 2006).

Efecto sobre la salud humana. El K⁺ se encuentra en vegetales, frutas, papas, carne y productos elaborados. Juega un papel importante en los sistemas de fluidos físicos de los humanos y asiste en las funciones de los nervios. Cuando el sistema renal no funciona bien se puede dar acumulación de potasio (Holding, 2006).

Es el principal catión de los fluidos intracelulares, y regula la presión osmótica intracelular y el balance ácido-base. Al igual que el sodio, el potasio tiene un efecto estimulante en la irritabilidad muscular. Además es requerido para la síntesis de glicógeno y proteínas, así como el desdoblamiento metabólico de la glucosa (FAO, 2010).

III. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo corresponde al interés del Comité de Sanidad Acuícola del Estado de México A. C. y del área de toxicología del CIESA por evaluar y generar información de la situación mineral en organismos acuáticos que se cultivan en el Estado de México. Debido a que no se tienen datos disponibles del nivel mineral (datos o información) “normal” en la carpa (*Cyprinus carpio*). Considerando que el grado de absorción de minerales varía entre las especies de peces y con las variaciones en ciertos factores ambientales, como concentración de minerales, temperatura y pH del agua. Esto hace difícil determinar el requerimiento global de minerales de los peces, y la cantidad que debe aportarse complementariamente en el alimento. Sin embargo, parece ser que los minerales absorbidos del agua no satisfacen el requerimiento total, por lo que es importante en evaluar la concentración de minerales como el calcio, sodio y potasio 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,

En condiciones prácticas de cultivo de peces, a menudo pueden presentarse síntomas por deficiencia de minerales, como puede ser el ejemplo de un balance no adecuado de calcio, provocado por el efecto antagónico que tiene un exceso de calcio en la dieta, sobre la absorción del fósforo y sobre los minerales traza; también signos clínicos evidentes de una deficiencia mineral se puede manifestar como un abatimiento del crecimiento. Considerando además, que a pesar de la presencia de macro elementos y minerales traza en niveles adecuados y virtualmente en todos los ingredientes comúnmente utilizados para la alimentación de los peces y de su habilidad para absorber ciertos minerales traza del agua, en condiciones de cultivo pueden presentarse síntomas por deficiencia de minerales.

En contraste con la mayoría de las otras especies criadas en estanques, el cultivo de la carpa, es relativamente extensivo. La carpa necesita un gran volumen de agua en proporción con la biomasa en peces; los estanques son poco profundos y por lo tanto se necesitan grandes superficies de agua. A menudo la carpa se cultiva en combinación con otras especies, a pesar de que la elección suele depender de las demandas de los mercados regionales, y en la actualidad es un mercado importante de consumo, por lo que se requiere de la atención de especialistas para disminuir los problemas sanitarios y nutricionales para su óptimo desarrollo.

El crecimiento de la población humana va a la par con un incremento en la demanda de proteína que estimula la agricultura, para ello, la acuicultura desarrolla

y aplica tecnologías que utilizan recursos naturales más eficientemente. Desde este punto de vista, el cultivo de la carpa común en estanques es uno de los más efectivos y que continuará siendo explotado, por lo que con la valoración inicial de los elementos de interés (Ca^{2+} , Na^+ y K^+) se pretende tener evidencia de sus concentraciones y determinar el grado en el que se encuentran, debido a que en la actualidad no existen datos referentes a estos en especies acuícolas cultivadas.

IV. MATERIAL

Material biológico

180 Muestras de músculo de carpa de diferentes cuerpos de agua del Estado de México, localizados en los municipios de: Acambay, Almoloya de Juárez, Amecameca, Atlacomulco, El Oro, Hueyoxtla, Ixtapan de la Sal, Jilotepec, Jiquipilco, Malinalco, Otzoloapan, San Luis Huexotlan, San José del Rincón, San Felipe del Progreso, Tenancingo, Tepetzotlan, Tequisquiac, Toluca, Tlatlaya, Villa Guerrero, Villa Victoria, Zacazonapan, Zumpango y Zumpahuacan.

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.

- Espectrofotómetro de absorción atómica. Perkin Elmer No. Serie LR23329C bajo las condiciones del fabricante (Manual Perkin Elmer Co. 1982).
- Lámpara de cátodo hueco específica para Calcio, Sodio y Potasio.
- Balanza analítica. Sartorius.
- Digestor (LABCONCO-64132).

V. MÉTODO

Para el presente trabajo se tuvo el apoyo del personal de Comité de Sanidad Acuícola del Estado de México A. C. quienes colectaron a los organismos acuáticos procedentes de diferentes municipios del Estado de México y enviaron al CIESA, una vez en el laboratorio, las muestras de tejido muscular se colectaron durante el examen anatomopatológico en el área de sanidad acuícola del CIESA, las cuales se identificaron y colocaron en bolsas de plástico.

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 continuo 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 (Ca^{2+} , Na^+ y K^+) de estudio, bajo las condiciones del fabricante. Las cantidades son expresadas en ppm, de acuerdo a la siguiente formula:

$$\text{ppm} = (\text{lectura} - \text{blanco})(\text{aforo}) / \text{peso de la muestra (Perkin Elmer Co., 1982)}.$$

Para el reporte de resultados, se empleó el método descriptivo (Steel y Torrie, 1985; Wayne, 2000), y se compararon con los valores reportados en la literatura o de referencia.

VI. HIPÓTESIS

Las concentraciones de Ca^{2+} , Na^+ y K^+ se encuentran en valores menores a los de referencia en el 50 % de las muestras de músculo de carpa (*Cyprinus carpio*).

VII. OBJETIVO

Determinar las concentraciones de Ca^{2+} , Na^+ y K^+ en tejido muscular de la carpa común (*Cyprinus carpio*).

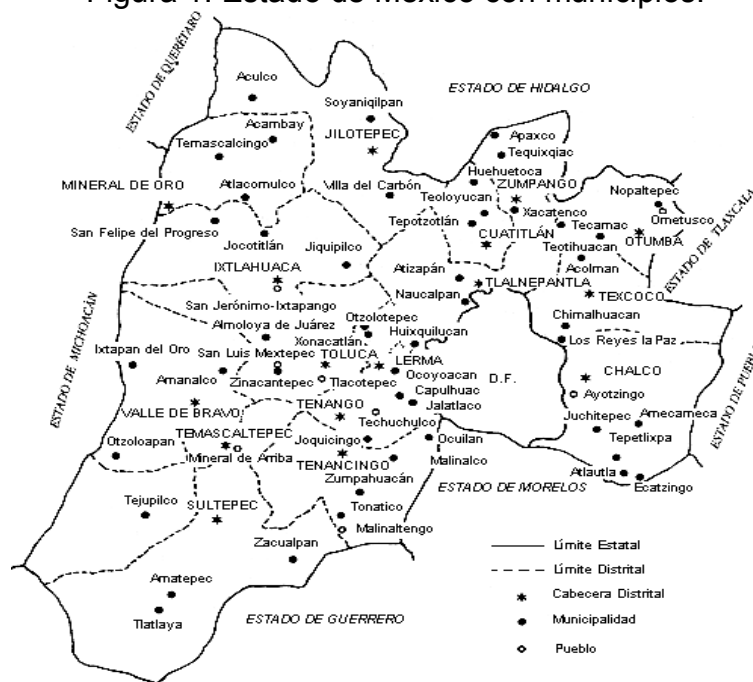
VIII. LÍMITE DE ESPACIO

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 la Ciudad de México (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 (INEGI, 2004).

Figura 1. Estado de México con municipios.



IX. LÍMITE DE TIEMPO

El presente trabajo se realizó desde el mes de abril del 2015 a diciembre del 2018, el cual inició con la búsqueda, recopilación y análisis de información para la redacción del protocolo de investigación; prosiguiendo con la colección de muestras para su posterior procesamiento en el laboratorio, como a continuación se detalla.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

	2015			2016/2017	2018
	Mar	Abril	May - Jun	Sep - Dic	Oct-Dic
Recopilación de datos e información.	✓	✓	✓		
Recolección de muestras y procesamiento.	✓	✓	✓		
Lectura e interpretación de resultados			✓	✓	
Redacción e integración del documento final				✓	✓

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente trabajo con el objetivo de determinar la concentración de calcio, sodio y potasio en tejido muscular de carpas (*Cyprinus carpio*), se obtuvieron 180 muestras colectadas por el personal del área de Sanidad Acuícola del Centro de Investigación y Estudios Avanzados de la FMVZ, estas con el precedente que de acuerdo al trabajo realizado de manera integral se evaluaban en las diferentes áreas para monitorear el estado sanitario de unidades de producción piscícola del estado de México y Michoacán, lo que constituyó un complemento del diagnóstico de situación.

De manera general el promedio obtenido para el caso del calcio (Ca^{2+}) fue de 44.16 ± 3.14 ppm; para el sodio (Na^+) fue de 321.91 ± 15.14 ppm; y de 162.98 ± 3.20 ppm en el nivel de potasio (K^+) (Cuadro 9). De tal forma que para el caso del calcio y potasio los valores obtenidos se encuentran ligeramente arriba de los valores de referencia (Ca^{2+} : 42.600 y en K^+ de 161.100 ppm) reportados en músculo de carpas (*Cyprinus carpio*), por Lozada *et al.*, (2006); mientras que para el caso del sodio, la concentración obtenida fue inferior al valor obtenido (Na^+ : 336.600 ppm) por los mismos autores. Aunque, González *et al.*, (2007) refirieron que la composición química de los peces puede variar considerablemente entre las diferentes especies y entre los individuos de una misma especie, dependiendo de la edad, sexo, medio ambiente y la época del año.

Cuadro 9. Concentración general de calcio, sodio y potasio (ppm) en músculo de carpas (*Cyprinus carpio*).

Mineral	Mínimo	Máximo	Promedio general	Valor de referencia*
Calcio	37.6	54.3	44.16 ± 3.14	42.600
Sodio	293	344	321.91 ± 15.14	336.600
Potasio	154	168	$162.98.98 \pm 3.20$	161.100

*Lozada *et al.*, (2006). Fuente: Información directa.

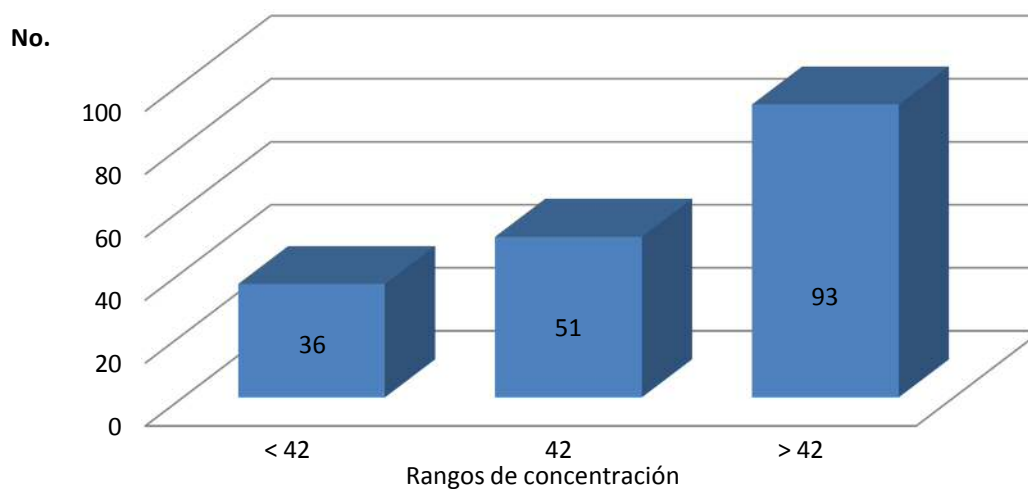
Es importante destacar que hasta el momento, son escasos los estudios realizados para determinar las concentraciones de referencia de minerales de importancia en la fisiología y producción acuícola; para el presente trabajo se consideran los datos reportados por Lozada *et al.*, (2006), quienes evaluaron diferentes elementos químicos, que pueden tener repercusiones en el medio, por la zona de “alto impacto”, sobre todo los metales pesados, pero a la vez aquellos de influencia en salud animal con probable influencia en la salud de consumidores, como es el caso de especímenes cultivados en sistemas de producción acuícola en agua dulce (*Cyprinus carpio*).

Las concentraciones obtenidas de calcio a partir de las muestras analizadas de músculo de carpa común (*Cyprinus carpio*) muestran a 93 (51.66%) ligeramente por arriba del referente obtenido por Lozada *et al.*, (2006), con un nivel promedio de 46.38 ± 2.77 ppm. Y a 36 muestras (20%) con un valor inferior a lo esperado, teniendo un promedio de 40.77 ± 1.07 ppm (Cuadro 10 y Figura 2).

Cuadro 10. Concentraciones de calcio (ppm) en músculo de carpas (*Cyprinus carpio*).

Rangos de concentración	Número	Porcentaje	Promedio y DS
< 42	36	20.00	40.77 ± 1.07
42	51	28.33	42.5 ± 0.21
> 42	93	51.66	46.38 ± 2.77

Figura 2. Concentración de calcio (ppm) en músculo de carpa (*Cyprinus carpio*) del Estado de México



Lozada *et al.*, (2006) consideraron que para obtener abasto de los minerales a partir de los alimentos las concentraciones probables para el caso del calcio son de 1000 mg por persona (aunque solo se absorben 365 mg en el duodeno), de potasio de 3000 mg/día, y de 1600 mg/día en el caso del sodio; condición importante ya que la carne de peces y otros alimentos contienen concentraciones de estos minerales. Sin embargo, cabe señalar que en caso de que exista un exceso de calcio (>1000 mg) puede producir estreñimiento, aumentar el riesgo de formación de cálculos renales y alteraciones renales e inferir en la absorción de otros minerales, como el hierro y el zinc (Ortega *et al.*, 2000; Valladares *et al.*, 2019).

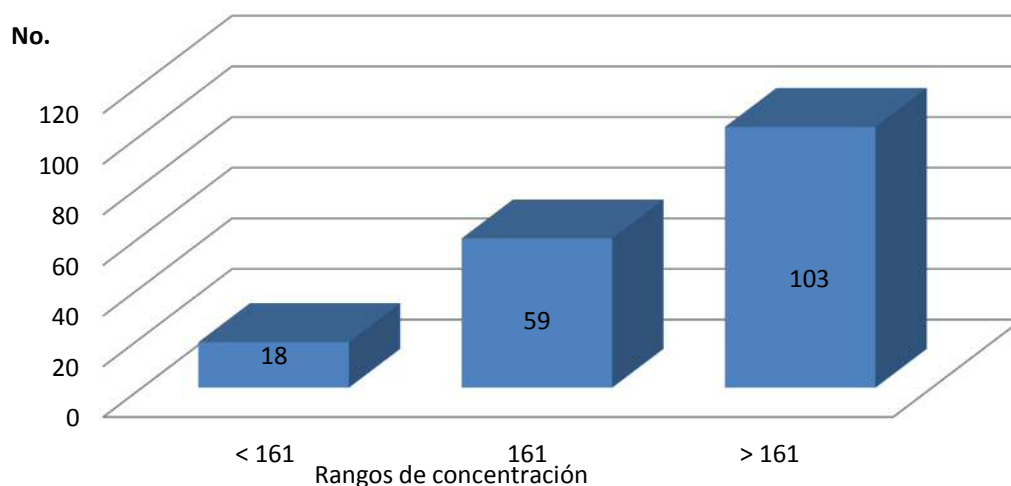
Considerando que el potasio tiene un papel relevante en los sistemas de fluidos corporales y asiste en la función de nervios, cuando existen alteraciones renales puede conllevar a una acumulación de potasio, que a la vez complica el cuadro patológico y en particular el ritmo cardiaco; y cuando existe una deficiencia de este mineral se pueden producir alteraciones en la transmisión de los impulsos nerviosos y sobre el equilibrio osmótico (Holding, 2006); así mismo cuando se sobrepasan las concentraciones de sodio (>1600 mg) produce lesiones renales e incrementa las posibilidades de hipertensión (Ortega *et al.*, 2000).

Para el caso de las concentraciones de potasio en músculo de *Cyprinus carpio* obtenidas, muestran que 103 (57.22%) se encontraron por arriba de lo reportado por Lozada *et al.*, (2006), con un promedio de 165.11 ± 2.18 ppm; en contraste con el numero deficiente de este mineral de 18 (10 %) muestras, con promedio de 157.33 ± 2.08 ppm (Cuadro 11 y Figura 3).

Cuadro 11. Concentraciones de potasio (ppm) en músculo de carpas (*Cyprinus carpio*).

Rangos de concentración	Número	Porcentaje	Promedio y DS
< 161	18	10.00	157.33 ± 2.08
161	59	32.77	161.0 ± 0
> 161	103	57.22	165.11 ± 2.18

Figura 3. Concentración de potasio (ppm) en músculo de carpa (*Cyprinus carpio*) del Estado de México



De acuerdo a las aseveraciones de Glover *et al.*, (2004), Baldisserotto *et al.*, (2005), y Klinek *et al.*, (2005) las concentraciones de sodio, potasio y calcio en

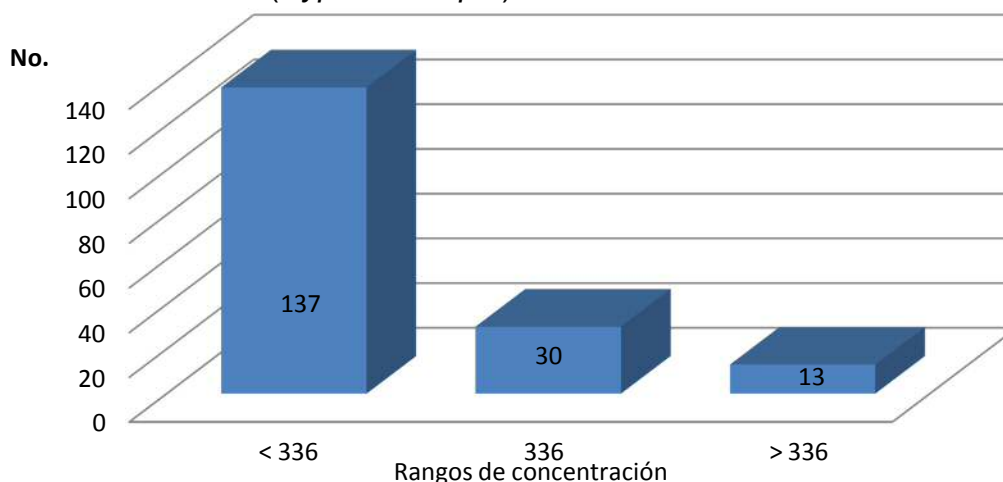
algunos peces, pueden aumentar cuando se incrementan sus concentraciones en el ambiente, provocando además, un aumento en el consumo de otros elementos como mercurio inorgánico, zinc y cadmio. Tkatzheva *et al.*, (2004), y Lainz *et al.*, (2005), refirieron que también pueden influir en el crecimiento y los mecanismos de osmorregulación en los peces y causar hipertrofia de las células branquiales.

Con respecto a las concentraciones de sodio en músculo de carpas (*Cyprinus carpio*), los valores obtenidos fueron muy marcados en rango menor con 137 (76.11%) muestras, con un promedio de 317.16 ± 14.33 ppm, que contrasta con las muestras que estuvieron por arriba de lo considerado por Lozada *et al.*, (2006), como referente de este mineral; que fueron 13 (7.22%), con un promedio de 339.0 ± 1.89 ppm (Cuadro 12 y Figura 4).

Cuadro 12. Concentraciones de sodio (ppm) en músculo de carpas (*Cyprinus carpio*).

Rangos de concentración	Número	Porcentaje	Promedio y DS
< 336	137	76.11	317.16 ± 14.33
336	30	16.66	336.0 ± 0
> 336	13	7.22	339.0 ± 1.89

Figura 4. Concentración de sodio (ppm) en músculo de carpa (*Cyprinus carpio*) del Estado de México



De manera general al encontrar una variabilidad en los resultados obtenidos para los tres minerales analizados (Ca^{2+} , K^+ y Na^+), aunque no hay una dispersión tan notoria, resultaría relevante continuar monitoreando el estado de éstos,

considerando diferentes épocas del año (lluvias y secas), la edad y talla de los especímenes, entre otros factores, debido a que la mayoría de los elementos minerales tienen un papel preponderante en la fisiología de todo organismo; muchos de ellos catalizan infinidad de reacciones químicas, intervienen en la síntesis de vitaminas y forman parte de la organización estructural de proteínas y otros compuestos; pero que al encontrarse en cantidades, ya sea bajas o altas pueden producir un desajuste y alteraciones características en algunos organismos (por especie), de manera particular

Adicionalmente, el tipo de muestras a evaluar es otra condición importante para el diagnóstico. En los peces, al vivir en medio acuático, se esperaría que por el contacto que tienen con una gran variedad de sustancias y elementos presentes en el agua; en su superficie corporal, así como las branquias (se produzca una acumulación de cualquier elemento que se encuentre en el medio, sobre todo a concentraciones altas), sin embargo, en estas últimas estructuras, que son en el mejor de los casos las que tienen una función de oxigenación lleven elementos disueltos a otras partes del pez produciendo una distribución en órganos parenquimatosos (Valladares *et al.*, 2019).

Itriago *et al.*, (2008), y Dashti *et al.*, (2009), consideraron que este tipo de estudio provee información adicional desde el punto de vista nutritivo, ya que la carne de organismos como *Cyprinus carpio* contiene concentraciones de calcio, sodio y potasio relativamente altas, minerales esenciales en la alimentación del ser humano y presentes en algunos alimentos ingeridos por el hombre, de allí que su consumo constituya un aporte de estos minerales en la nutrición.

Asimismo, Huss (2010) refirió que este tipo de resultados también podrían ser utilizados como información en la acuicultura, para diseñar el alimento y mejorar la calidad de la carne; la composición química de la estructura de los peces cultivados puede predecirse, cuando se seleccionan las condiciones de cultivo como la composición del alimento, además de las condiciones ambientales, el tamaño de los peces y los rasgos genéticos; los cuales tienen impacto en la composición y calidad de los peces cultivados.

XI. CONCLUSIONES

Las concentraciones de calcio en músculo de carpa común (*Cyprinus carpio*) muestran a 93 (51.66%) ligeramente por arriba del valor de referencia, con un nivel promedio de 46.38 ± 2.77 ppm; 36 muestras (20%) con un valor inferior a lo esperado, teniendo un promedio de 40.77 ± 1.07 ppm.

Las concentraciones de potasio en *Cyprinus carpio* muestran que 103 (57.22%) se encontraron por arriba del valor de referencia, con un promedio de 165.11 ± 2.18 ppm; y el número deficiente de este mineral de 18 (10%) muestras, con promedio de 157.33 ± 2.08 ppm

Las concentraciones de sodio en *Cyprinus carpio* fueron muy marcados en rango menor con 137 (76.11%) muestras, con un promedio de 317.16 ± 14.33 ppm, y solo 13 (7.22%), con un promedio de 339.0 ± 1.89 ppm.

XII. LITERATURA REVISADA

- Aguilera HP. y Zarza ME. (1988). La carpa y su cultivo. Fondapesca. pp. 46.
- Ajani EK. (2012). Growth response and ionic regulation in common carp (*Cyprinus carpio* L.) after chronic dietary copper exposure and recovery. *International Journal of Fisheries and Aquaculture*, 23:45-51.
- Albert GJT. (1995). Ictiopatología Nutricional. Signos morfológicos de la carencia, toxicidad de los nutrientes en peces cultivados. (FAO) Documento técnico de pesca 330. Gandhi. pp. 15-21.
- Andrades JA., Becerra J. y Fernández F. (1996). Skeletal Deformities in Larval, Juvenile and Adult Stages of Cultured Gillhead Sea Bream. *Aquaculture*, 6:1-11.
- Ashley LMC. (1972). Nutritional Pathology in Fish Nutrition. J.E. Salver. pp. 439-537.
- Baldisserotto B., Chowdhury MJ., Wood CM. (2005). Effects of dietary calcium and cadmium on cadmium accumulation, calcium and cadmium uptake from the water, and their interactions in juvenile rainbow trout. *Aquatic Toxicol.* 72(1-2):99-117.
- Barcelo QID. (2000). Estudio de la Movilidad de Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en Sedimentos de la Presa José Antonio Álzate en el Estado de México. Tesis de Doctorado. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Becker K., Meyer-Burgdorff K. y Focken U. (1992). Temperature induced metabolic costs in carp, *Cyprinus carpio* L., during warm and cold acclimatization. *J. Appl. Ichthyol.* 12:8-20.
- Bernet D., Schmid W. y Burkhardt T. (2004). Evaluation of Two Monitoring Approaches to Assess Effects of Waste Water Disposal on Histological Alterations in Fish. *Hydrob.* pp. 53-56.
- Billard R. (1999). *The Carp Biology and Culture*. Springer Science & Business Media. pp. 2- 51.
- Bloomfield MM. (2001). *Química de los organismos vivos*. Limusa - Noriega. España. pp. 65-73.

- Boyd C. (1982). Water quality management for pond fish culture. Elsevier Sc. Publication Company, New York.
- Burton RF. (1986). Ionic regulation in fish: the influence of acclimation temperature on plasma composition and apparent set points. *Comp. Biochem. Physiol. A.*, 85:23-28.
- Cahu C., Zambonin- Infante JL. y Takeuch T. (2003). Nutritional Components Affecting Skeletal Development in Fish Larvae. *Aquaculture*. 227:245-258.
- CIFA. Central Institute of Freshwater Aquaculture, Bhubaneshwar, Orissa. (2010). <http://www.cifa.in/Default.aspx>. (12 noviembre 2019).
- Cordero GA. (1986). Evaluación biológica pesquera de *Cyprinus carpio* y *Carassius auratus* en el embalse "La Goleta", Estado de México. Tesis. ENEP Iztacala Tlalnepantla. UNAM.
- Costello Francesco; Orvay (2013) Piscicultura marina en Latinoamérica. Bases Científicas y técnicas para su desarrollo. Universidad Barcelona. pp 36-46
- Cutler CP., Sanders IL., Hazon N. y Cramb G. (1995). Primary sequence, tissue specificity and expression of the Na⁺,K⁺-ATPase alpha 1 subunit in the European eel (*Anguilla anguilla*). *Comp. Biochem. Physiol.*, 111B:567-573.
- Dange AD. (1986). Branchial Na⁺-K⁺-ATPase activity in freshwater or saltwater acclimated tilapia, *Oreochromis (Sarotherodon) mossambicus*: effects of cortisol and thyroxine. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 62:341-343.
- Dashti B., Al-Awadi F., Alkandari R., Ali A., Al-Otaibi J. (2009). Macro-and microelements contents of 32 Kuwaiti composite dishes. *Food Chem.* 85 (3):331-337.
- David M., Mushigeri SB. y Philip GH. (2003). Alternation in the levels of fresh water fish, *Labeo rohita* exposed to fenvalerate. *Pollut. Res.*, 22:359-363.
- De Boeck G., Vlaeminck A., Balm PHM., Lock RAC., De Wachter B. y Blust R. (2001). Morphological and metabolic changes in common carp, *Cyprinus carpio*, during short-term copper exposure: interactions between Cu²⁺ and plasma cortisol elevation. *Environ. Toxicol. Chem.*, 20:374-381.
- Filk G. y Verbost PM. (1993). Calcium transport in fish gills and intestine. *J. Exp Biol.*, 34:67-73.

- Flik G., Wendelaar BSE. y Fenwick JC. (1983). Ca²⁺- dependent phosphatase and ATPase activities in eel gill plasma membranes – I. Identification of Ca²⁺-activated ATPase activities with non-specific phosphatase activities. *Comp. Biochem. Physiol.*, 76:745-754.
- Floyd R. (2002). *Fish nutrition*. Institute of food and agricultural sciences. University of Florida. pp. 4.
- FAO. (Food and Agriculture Organization)(2010). *Nutrición y alimentación de peces y camarones cultivados*. Manual de capacitación.
- FOEA. (Fundación Observatorio Español de Acuicultura) (2012). *La nutrición y alimentación en piscicultura*. Paraninfo. pp. 379-390.
- Gavara P. y Sarasque C. (1999). Detection of Mineralized structures in early stages or development of marine teleost using a modified alacian blue-alazarin red double staining technique. *Biotech Histochem.*, 75:79-84.
- Glover CN., Bury NR., Hogstrand C. (2004). Intestinal Zinc uptake in freshwater rainbow trout: evidence for apical pathways associated with efflux and modified by calcium. *Bioch. et Biophys. Acta (BBA)-Biomembr.* 1663(1-2):214-221.
- Guillaume J., Kaushik S. y Bergot P. (2002). *Nutrición y alimentación de peces y crustáceos*. Mundi-Prensa, pp. 475.
- Gulland J. (1971). *Manual de métodos para la evaluación de las poblaciones de peces*. Acribia. España. pp. 155.
- Huss HH. (2010). *Quality and quality changes in freshwater fish*. FAO Fish. Techn. Paper No. 348. pp. 203.
- INEGI. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2004). *Anuario Estadístico del Estado de México*, Gobierno del Estado de México. http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/edomex/ubic_geo.cfm?c=1203&e=15&CFID=640681&CFTOKEN=29090091 (29 diciembre 2019).
- Itriago A., Carrión N., Fernández A., Puig M., Diní E. (2008). Contenido de zinc, cobre, calcio, fósforo y magnesio en la leche materna en los primeros días de lactación. *Arch.Latinoam. Nutri.* 47(1):14-22.

- Halver JE. y Hardy WR. (2002). Fish Nutrition. 3ª ed. Edited by John E. Halver. Ronald W. Hardy. pp. 271-278.
- Hans R. y Van Kapenhout K. (2006). Dynamics of cadmium accumulation and effects in common carp (*Cyprinus carpio*) during simultaneous exposure to water and food (*tubifex tubifex*). http://www.readcube.com/articles/10.1897%2F05239R.1?r3_referer=wol&tracking_action=preview_click&show. (18 noviembre 2019).
- Hepher B. (1993). Nutrición de peces comerciales en estanques. Limusa. México, pp.406.
- Hertrampf JW. y Piedad FP. (2003). Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Springer Science & Bussines Media. pp. 23-479.
- Holding BV. (2006). Agua residual y purificación del aire, <http://www.lenntech.com/index.htm>. Holanda (23 octubre 2019).
- Horvâth L., Tamas G. y Seagrave C. (2002). Carp and pond fish culture. 2ª ed. Fishing News Books. pp.185.
- Jhingran VG., Ranger SV. y Pullin C. (1985). Hatchery Manual of the Common Chinese and Indian Major Carps. Worldfish. pp. 93-97.
- Kemmer NF. y MacCallion J. (1997). Manual de Agua. Mc Graw-Hill. México. pp. 565.
- Kjoss VA., Gossel M. y Wood CM. (2005). The influence of dietary sodium on copper acumulation in juvenile rainbow trout exposed to combined dietary.
- Klinck J., Dunbar M., Brown S., Nichols J., Winter A., Hughes C., Playle RC. (2005). Influence of wáter chemistry and natural organic matter on active and passive uptak e of inorganic mercury by gills of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquatic Toxicol. 72(1-2):161-175.
- Laiz-Carrion R., Sangiao-Alvarells S., Guzmán JM., Martín del Río MP., Soengas JL., Mancera JM. (2005). Growth performance of gilthead sea bream *Sparus aurata* in different osmotic conditions: Implications for osmoregulation and energy metabolism. Aquacult. 250(3-4): 849-861.
- Lall SP. y Lewis M. (2007). Role f nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish. Aquaculture, 2:3-9.

- Lawson T. (1995). Fundamentals of aquacultural engineering. Chapman & Hall, N.Y. pp. 355.
- Lloyd R. (2003). Pollution and freshwater fish. Fishing News Book. Oxford, England.
- Lovell T. (1998). Nutrition and Feeding of Fish. Springer Science & Business Media. pp. 61-70.
- Lozada ZEJ., Monk S., Pulido FG., Gordillo MAJ., Prieto GF. (2006). Determinación de metales pesados en *Cyprinus carpio* en la laguna de Metztlán, Hidalgo, Mexico. En V Congreso Internacional y el XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. Oaxtepec, Morelos, Méx. pp. 1-9.
- Mancini MA. (2002). Cursos Introducción a la Producción Animal y Producción Animal I, FAV UNRC. www.produccion-animal.com.ar. (18 noviembre 2019).
- Matsusato T. (1986). Study on skeletal anomaly of fishes. Bull. Nat. Res. Inst. Aquac. 4:57-179.
- McCormick SD. (1995). Hormonal control of gill Na⁺,K⁺-ATPase and chloride cell function. In Fish Physiology, vol. 14 (ed. C. M. Wood and T. J. Shuttleworth), pp. 285-315. New York: Academic Press.
- Mohsen A. y Mamdouh AA. (2006). The use of calcium pre-exposure as protective agent against environmental copper toxicity for juvenile Nile Tilapia. Aquaculture, 53: 236-296.
- Molina-Astudillo B., Grandos-Ramírez F. y Quiroz-Castelán R. (2003). Productividad Primaria y Crecimiento de Carpas Chinas en Estanques Rústicos. Universidad de Guanajuato. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/pdf> (11 febrero 2019).
- Nathaniel S. y Edirisinghe U. (2001). Abundance and aspects of the reproductive Biology of common carp (*Cyprinus carpio*) in a upland reservoir in Sri Lanka. As. Fish. Sac. 12: 343-351.
- NRC. (National Research Council). (1983). Subcommittee on Warm water Fish Nutrition. Nutrient Requirements of Warm water Fishes and Shellfishes. National Academies. pp. 23-29.
- NRC. (National Research Council). (1993). Committee on Animal Nutrition. Nutrient Requirements of Fish. National Academies. pp. 16-20.

- Nielsen L., Johnson D. y Lampton S. (1983). Fisheries Techniques. American Fisheries Soc. Maryland, pp. 406.
- Ortega LM., Siebe C., Becard G., Méndez I. y Webster R. (2000). Impact of a century of wastewater irrigation on the abundance of arbuscular mycorrhizal spores in the soil of the Mezquital Valley of México. Applied Soil Ecology, 16: 149-157.
- Orvay CF. (2013). Piscicultura marina en Latinoamérica. Bases Científicas y técnicas para su desarrollo. Universidad Barcelona. pp. 36-46.
- Perkin Elmer Co. (1982). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. Perkin Elmer Co. Connecticut, USA.
- Peteri A., Nandi S. y Chowdowdhury S. (1992). Manual on seed production of carps. Institutional Strengthening in the Fisheries Sector. Bangladesh. pp. 61. <http://www.fao.org/docrep/field/003/ac376e/AC376E02.htm> (14 noviembre 2019).
- Pillay VTR. (2002). Acuicultura principios y prácticas. 2ª ed. Limusa- Noriega.
- Pond WG. y Church DC. (2003). Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales, 2ª ed. Limusa-Noriega.
- Pyles GG., Gikamunde CN. y Mcdonld DG. (2002). Dietary sodium inhibits aqueous copper uptake in rainbow trout. Exp. Biol., 11:609-618.
- Raymand PC. (1976). Modeling Biochemical processes in aquatic ecosystems.
- Roberts RJ. (1978). Fish Pathology, Balliere and Tindall, London. pp. 162-179
- Roberts R. (1981). Patología de los peces. Mundi-Prensa, Madrid, pp. 355.
- Roland BJM. (1986). Acuaculture of Cyprinids. Ediciones Quoe Gandhi. pp 215-226, 283.
- Sánchez MR. y Navarrete SN. (1987). Rendimiento de la carpa común (*Cyprinus carpio*) en dos bordos del Estado de México. 1º Simposio Nacional de Acuicultura, Pachuca, Hidalgo.

- SEDUE. (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología) (1989). Criterios ecológicos de la Calidad del Agua. CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, México, 13 de Diciembre. pp. 7-23.
- Steffens W. (1987). Principios fundamentales de la alimentación de los peces. Acribia. España, pp.278.
- Steel GDR. y Torrie HJ. (1985). Bioestadística: Principios y procedimientos. McGraw Hill. México, D.F.
- Tkatcheva V., Hyvärinen H., Kukkonen J., Ryzhkov LP., Holopainen IJ. (2004). Toxic effects of mining effluents on gills in a subarctic lake system in NW Russia. *Ecotoxicol. and Envirom. Safety*. 57(1):1-8.
- Valladares-Carranza B., Zamora-Espinosa J.L., Velázquez-Ordoñez V., Díaz-Zarco, S., Ortega-Santana C., Peña-Betancourt S.D. (2013). Selenium supplementation and the immune response of sheep. In: *Nutritional Strategies of Animal Feed Additives*. Editor: A.F.Z.M. Salem. Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-62417-000-3. pp. 121-130.
- Valladares CB., Ortega SC., Bedolla CJLC., Velázquez OV., Zamora E JL., Pérez SLS. (2019). Metales tóxicos de importancia en la acuicultura. En: *Producción animal y factores de riesgo ambiental en las instalaciones, su influencia en el bienestar animal*. Editor: Cruz HAR., Bedolla CJLC., Domínguez RL. Papiro Omega, S.A. de C.V. ISBN: 978-607-7852-41-4. pp. 49-61.
- Vázquez W. (2004). Principios de nutrición aplicada al cultivo de peces. Editorial JUAN XXIII. Universidad de los Llanos. pp.101.
- Wayne DW. (2000). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. UTHEZ. México.
- Walsh P. (1998). *The physiology of fishes*. 2^a ed. CRC Press LLC. EE.UU. pp. 519.
- Weathon FW. (1992). *Acuicultura*. A.G.T. Editor Mexicano. pp. 704.
- Webster DC. y Lim C. (2002). *Nutrient Requeriments and Feeding of Fish for Aquaculture*. Cabi. pp. 262.

- Yamamoto T., Shima T., Furuita H. y Suzuki N. (2002). Effect of water temperature and short-term fasting on macronutrient self-selection by common carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture*, 220:655–666.
- Yilmaz E., Sahin A., Duru M. y Akyurt I. (2005). The effect of varying dietary energy on growth and feeding behaviour of common carp. *Cyprinus carpio*. under experimental conditions. *App. Anim. Beav. Sci.*, 92:85–92.