

Estrés producido por concentraciones terapéuticas de sulfato de cobre en *Carassius auratus* (Pisces, Cyprinidae)

Stress produced by therapeutic copper sulphate concentrations on *Carassius auratus* (Pisces, Cyprinidae)

Teresa Vázquez¹, Catalina Maldonado², Samuel Marañón¹ y Sonia Espina²

¹Laboratorio de Sistemas Acuícolas. Universidad Autónoma Metropolitana - Unidad Xochimilco. 04960 México, D. F. México
e. mail: mahs7513@correo.xoc.uam.mx

²Laboratorio de Ecofisiología, Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. 04510 México D. F. México.

Vázquez T., C. Maldonado, S. Marañón y S. Espina. 2005. Estrés producido por concentraciones terapéuticas de sulfato de cobre en *Carassius auratus* (Pisces, Cyprinidae). *Hidrobiológica* 15 (1):35-42.

RESUMEN

Con el fin de evaluar si el tratamiento terapéutico con sulfato de cobre producía estrés, los juveniles de *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) se expusieron en baños de sulfato de cobre por 30 min a concentraciones de 0.5 y 1.0 mg Cu²⁺/l, denominadas C1 y C2, respectivamente. En cada experimento se incluyeron grupos testigo. El estrés se cuantificó mediante la prueba del oxígeno disuelto residual (ODR, mg O₂/l) en carpas pequeñas (Clase A: 1.67 ± 0.12 g) y grandes (Clase B: 2.57 ± 0.18 g). Los resultados demostraron que para la Clase A, la exposición a C2 fue estresante; el ODR fue 35.7% mayor que en los testigos y 50% más alto que en C1 (P < 0.05). El consumo de oxígeno fue 39.5% más elevado que en los testigos y 52.6% mayor que en C1 (P < 0.05). Al comparar ambas clases de peso, en C1 el ODR de la Clase A fue similar al de la Clase B y en C2 fue 42.9% mayor que en ésta. La tasa de consumo de oxígeno (TCO) fue 32.7% menor en la Clase A que en la Clase B y en C2, 39.5% más alta en la primera. La eficiencia de extracción de oxígeno (90%) fue similar en todos los grupos. Los resultados obtenidos son importantes para el cultivo de *C. auratus* juvenil considerando mantenimiento y alimentación (36% proteína). Para los tratamientos con sulfato de cobre se recomienda el procedimiento empleado en este estudio, con objeto de evitar que el efecto adverso del cobre sea enmascarado.

Palabras clave: *Carassius auratus*, sulfato de cobre, pruebas de desafío, oxígeno disuelto residual, estrés.

ABSTRACT

To evaluate if therapeutic treatment with copper sulfate produced stress on juvenile *Carassius auratus* (Linnaeus, 1758), fish were exposed to copper bath during 30 min, copper concentrations were 0.5 and 1.0 mg Cu²⁺/l, named C1 and C2, respectively. Control groups were included in each experiment. Fish stress was measured by challenge test of residual dissolved oxygen (RDO, mg O₂/l) in small (Class A: 1.67 ± 0.12 g) and large carps (Class B: 2.57 ± 0.18 g). Results show that C2 stressed small carp. Obtained RDO in those carps was 35.7% higher than control fish and 35.5% higher than fish exposed to C1 (P < 0.05). Oxygen consumption was 39.5% more elevated than control group and 52.6% higher than C1 (P < 0.05). Both weight classes were compared; RDO-Class A was similar to Class B in C1, and in C2 was 42.9% higher than this one. The RDO was 32.7% smaller in Class A than in Class B in C1 but 39.5% higher than this in C2. The oxygen extraction efficiency (90%) was

similar in all groups. Results obtained in this study, considering maintenance and feeding (36% protein), are important to cultivate *C. auratus* juveniles. In therapeutic treatments with copper sulphate, we recommend the procedure used in this work in order to avoid masking the copper noxious effect.

Key words: *Carassius auratus*, copper sulphate, challenge test, residual dissolve oxygen, stress.

INTRODUCCIÓN

La carpa dorada *Carassius auratus* (Linneus, 1758) es uno de los peces de ornato más ampliamente cultivado en el país (Sánchez, 1994); su calidad comercial está determinada por la forma, el tamaño y el color. Una de las estrategias de producción para mantener dicha condición de calidad, es la administración de tratamientos terapéuticos con diversas sustancias y medicamentos con el fin de controlar organismos perjudiciales.

Las funciones fisiológicas de los peces pueden ser alteradas por factores adversos del medio. Los estresores ambientales de origen natural o producidos por el hombre alteran la fisiología normal del pez, de tal manera que ya no es capaz de resistir el efecto de otros estresores (Wedemeyer & McLeay, 1981; Heath, 1987; Schreck, 1990).

El estrés producido en los peces en cautiverio se debe a la manipulación a la que se someten frecuentemente, o bien al deterioro de la calidad de agua con bajas concentraciones de oxígeno disuelto, elevados niveles de amonio y de anhídrido carbónico, exposición a temperaturas adversas; asimismo, el mantenimiento en aguas demasiado suaves o demasiado duras les provoca estrés. Estas condiciones favorecen tanto el desarrollo de patógenos causantes de enfermedades asociadas al estrés, como las inducidas por parásitos. Entre las primeras se mencionan las provocadas por las bacterias obligatorias y facultativas, por los hongos y por los virus. Entre los parásitos se incluyen los pertenecientes a los géneros *Argulus spp.*, *Gyrodactylus spp.*, *Tricodina spp.* e Ichthyophthirius spp. (Wedemeyer, 1996, 1997). Por estas razones, es común que en el manejo de los cultivos de peces se establezcan acciones específicas de sanidad acuícola entre las que se recomienda el tratamiento terapéutico con sulfato de cobre; esta sal se emplea en el control de las enfermedades bacterianas de las branquias y en el de los ectoparásitos, como protozoos y tremátodos (Hoole *et al.*, 2001). El tratamiento consiste en sumergir a los peces en baños con sulfato de cobre por un cierto período; es necesario tener en cuenta que el propio tratamiento terapéutico puede provocar estrés en los animales, ya sea por la manipulación a la que se someten o porque la concentración de cobre es inadecuada (Kinkelin *et al.*, 1985). También es importante considerar que el ión cúprico es tóxico para los organismos acuáticos y que su toxicidad es dependiente del pH, la dureza y la temperatura del agua (Kinkelin *et al.*, 1985; Lázaro-Chávez, 1985; Lloyd, 1992;

Newman & Jagoe, 1996); de la cantidad de materia orgánica presente en el medio (Lloyd, 1992; Leland & Kuwabara, 1985); de la especie y de su estado de desarrollo, así como del estado fisiológico del organismo (Pelgrom *et al.*, 1994).

En algunos países el sulfato de cobre ha sido incluido en la lista de autorizaciones para el mercado para ser usado no sólo en especies de ornato sino también en las de consumo humano. Cabe recordar que la autorización de medicamentos para la acuicultura, establece la calidad de las sustancias medicinales disponibles y la seguridad y eficacia en el uso. En la Unión Europea y en EEUU esto está cubierto en la legislación denominada Autorización para el Mercado (MA) (Trevés-Brown, 2000).

Existen varios indicadores que proporcionan información sobre el estado general de la salud del animal y cuantifican el grado de estrés producido cuando las funciones normales del organismo han sido deterioradas por los estresores; en tal condición la energía necesaria para llevarlas a cabo no es suficiente debido a que las respuestas de resistencia son procesos que generalmente demandan gran cantidad de energía (Burggren & Roberts, 1991; Jobling, 1994). Por lo tanto, el deterioro del pez se determina en función de su capacidad para enfrentar una nueva condición estresante; con este fin, se han diseñado procedimientos denominados pruebas de desempeño o de desafío en las que se postula la acción sinérgica de los estresores (Wedemeyer & McLeay, 1981; Wedemeyer, 1996, 1997).

En tratamientos terapéuticos, el sulfato de cobre se administra sólo por inmersión y aunque tiene acción biocida beneficiosa en los sistemas de cultivo, se ha demostrado que también puede tener efectos perjudiciales en los peces (Heath, 1987; Jobling, 1994; Beaumont *et al.*, 1995; Trevés-Brown, 2000).

Considerando lo expuesto anteriormente, el presente estudio se realizó con el propósito de evaluar el efecto del sulfato de cobre en concentraciones recomendadas para tratamientos terapéuticos, en los juveniles de *C. auratus*

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó por fases, de acuerdo a la disponibilidad de espacio en el Laboratorio de Ecofisiología de la Facul-

tad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Por esta razón, se adquirieron dos grupos de juveniles de 4 en dos granjas, ubicadas en el Municipio de Jiutepec, Morelos. La edad de los juveniles fue de 60 ± 10 días, aproximadamente.

Los organismos se mantuvieron en condiciones de laboratorio en tres acuarios de 80 l, a una densidad de 1 g/l, con agua filtrada por carbón activado y aireación permanente; el volumen perdido por evaporación se repuso. Las características fisicoquímicas del agua fueron las siguientes: temperatura 25 ± 1 °C, (calentadores sumergibles Hagen), el oxígeno disuelto fue 5.9 ± 0.1 mg O₂/l (YSI-54ARC; ± 0.01 mg O₂/l) y el pH a 7.8 ± 0.3 (potenciómetro Walklab Trans-Instrument; ± 0.01 unidades). Diariamente se suministró a los peces alimento comercial para carpa dorada, Wardley®, 40% de proteína, en una proporción del 6% del peso corporal, dividido en dos raciones diarias. Esta dieta se complementó con alimento vivo, *Artemia* sp. proporcionada dos veces por semana. El alimento remanente y las heces se retiraron del fondo de los acuarios con redes de luz de malla de 0.3 mm y mediante un sifón, una vez por semana. El fotoperíodo se fijó en 12 h luz: 12 h oscuridad.

En estas condiciones los peces permanecieron durante 45 días, al término de los cuales se seleccionaron los sujetos de experimentación, antes de ser sometidos a los tratamientos terapéuticos, se formaron dos grupos: Clases A y B, acorde al peso de los organismos evaluado con carga de agua en balanza de plato OHAUS (± 0.01 g). Al término de los experimentos se midió la longitud total con vernier (± 0.1 cm). Los peces más pequeños, de 1.50 a 1.74 g y 3.41 a 4.70 cm aproximadamente, se incluyeron en la Clase A y los más grandes de 2.37 a 2.70 g y 5.26 a 5.64 cm, en la Clase B.

En la fase experimental, las carpas de ambas Clases se distribuyeron en acuarios de 40 l y se mantuvieron por cinco días en condiciones idénticas a las del periodo anterior.

De estos acuarios se seleccionaron al azar 12 peces con el fin de medir los niveles de oxígeno residual (mg O₂/l) en los peces expuestos a las diferentes condiciones experimentales. La captura se llevó a cabo con cajas de plástico de base cuadrada (10x10x15 cm) con tapa, forradas con una red de 0.3 mm de luz de malla. Los baños terapéuticos se efectuaron sumergiendo los peces, contenidos en dichos dispositivos, en cubetas de plástico con 4 l de las respectivas soluciones de CuSO₄·5 H₂O (Merck, 99.9%): 0 (testigos), 0.5 y 1.0 mg Cu²⁺/l aireadas de forma gradual y mantenidas a 25 ± 1.0 °C. Al finalizar el lapso de exposición de 30 min, las cajas con los peces se sumergieron durante 2 min en agua limpia, de las mismas características que las de mantenimiento, tres veces sucesivas. En seguida, los organismos se liberaron en acuarios de vidrio de 15 l y se observaron después de 1, 3, 6, 12, 24, 48 y 72 h. Durante el período de observación los peces se alimen-

taron como anteriormente y de igual manera se mantuvo la limpieza de los acuarios. Después de este lapso no se les proporcionó alimento las siguientes 24 h, con objeto de efectuar en ayunas las pruebas de desafío del oxígeno disuelto residual (ODR, mg O₂/l).

Para medir el ODR, los peces se trasladaron individualmente a frascos de vidrio de 150 ml con aireación constante suministrada a través de pipetas Pasteur y a la temperatura experimental, mantenida en un baño termostático. La captura y el traslado se efectuó en vasos de precipitado (250 ml) con el fin de evitar el estrés producido por la manipulación. Después de 1 h en estas condiciones, se retiraron las mangueras de aireación de cada cámara, se midió la concentración de oxígeno inicial con un sensor de oxígeno conectado a un oxímetro (YSI 54 ARC; ± 0.01 mg O₂/l) y se sellaron los frascos con papel encerado (Parafilm) cuidando que no quedaran burbujas en su interior. El punto final de la prueba fue la muerte de los peces. El criterio de muerte fue el cese del batido opercular; en este momento se registró el tiempo de muerte (h). Se abrieron los frascos, los peces se retiraron rápidamente, se introdujo un agitador magnético en el frasco y se midió la concentración del oxígeno disuelto residual (ODR); los resultados se expresaron en mg O₂ h⁻¹ g⁻¹.

La tasa de consumo de oxígeno (mg O₂ h⁻¹ g⁻¹ PH) se calculó por diferencia entre los valores de la concentración de oxígeno al inicio y al final de los experimentos. La eficiencia de extracción del gas (EEO, %) se determinó en relación a los niveles iniciales del oxígeno disuelto en el medio.

Al finalizar los experimentos se midió el peso de los juveniles (g) y su longitud total (cm).

Con objeto de caracterizar la variabilidad de los datos obtenidos de los diferentes grupos de peces experimentales y testigos de ambas granjas, se describió gráficamente su comportamiento por diagramas de cajas (Hoaglin *et al.*, 1991). Las diferencias se estimaron significativas cuando no hubo traslape entre los intervalos de confianza de la mediana ($\alpha = 0.05$). En el análisis estadístico se empleó el programa de cómputo Statgraphics (Statist. Graph. Syst. Co., 1985).

RESULTADOS

La sobrevivencia de los peces después de 72 h de haber sido expuestos al sulfato de cobre fue del 100%.

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de los juveniles de *C. auratus* de la Clase A (1.67 ± 0.12 g) y de la Clase B (2.57 ± 0.18 g). Se muestran los valores medianos e intervalos de confianza de la mediana, correspondientes al oxígeno disuelto residual (ODR, mg O₂ h⁻¹ g⁻¹), a la tasa de

Tabla 1. Oxígeno disuelto residual (ODR, mg O₂h⁻¹g⁻¹), tasa de consumo de oxígeno (TCO₂, mg h⁻¹g⁻¹) y eficiencia de extracción de oxígeno (EEO, %) en *Carrassius auratus* de dos clases de tallas (A y B, g peso húmedo) expuestos al sulfato de cobre. Mediana e intervalo de confianza de la mediana (95%). (N)= Número de organismos

mg Cu ²⁺ /l		Clase A	Clase B
C0	ODR	0.09 (0.07, 0.11)	0.08 (0.06, 0.10)
	TCO	0.92 (0.75, 1.09)	0.88 (0.52, 1.24)
	EEO	90 (89, 91)	97 (96, 98)
	Peso, g	1.68 (1.39, 1.97)	2.98 (2.41, 3.55)
	(N)	(12)	(11)
C1T	ODR	0.07 (0.05, 0.09)	0.06 (0.04, 0.08)
	CO	0.72 (0.52, 0.92)	1.07 (0.90, 1.25)
	EEO	90 (88, 92)	96 (95, 97)
	Peso, g	1.34 (1.08, 1.60)	2.48 (2.00, 2.96)
	(N)	(12)	(11)
C2	ODR	0.14 (0.12, 0.16)	0.08 (0.06, 0.10)
	TCO	1.52 (1.34, 1.70)	0.92 (0.76, 1.08)
	EEO	91 (89, 93)	96 (94, 98)
	Peso, g	2.00 (1.73, 2.27)	2.24 (1.77, 2.71)
	(N)	(12)	(8)

C₀: Testigos, C₁: 0.5 mg Cu²⁺/l; C₂: 1.0 mg Cu²⁺/l

consumo de oxígeno (TCO, mg O₂ h⁻¹ g⁻¹) y a la eficiencia de extracción de oxígeno (EEO, %) del grupo testigo y de los grupos experimentales.

En la Clase A se observó que el ODR en los organismos expuestos a 0.5 mg Cu²⁺/l fue similar al de los testigos, pero que al elevarse la concentración de cobre, el ODR se incrementó significativamente ($P < 0.05$). En la figura 1 se observa que el aumento relativo de ODR de los peces expuestos a 1.0 mg Cu²⁺/l (C2) con respecto a los testigos, fue del 35.7% y con los expuestos a 0.5 mg Cu²⁺/l (C1) fue del 50%.

En referencia al consumo de oxígeno, los peces Clase A expuestos a la menor concentración de cobre tuvieron tasas similares a la de los testigos (Tabla 1; $P > 0.05$) y superiores a las carpas expuestas a la mayor concentración de cobre (C2) cuyos valores fueron 39.5% más altos que la de los testigos y 52.6% más elevados que en los peces expuestos a 0.5 mg Cu²⁺/l (C1) como se aprecia en la figura 1. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

En la Clase B los valores de ODR de los peces expuestos a ambas concentraciones de cobre, fueron similares al testigo (Tabla 1; $P > 0.05$).

La eficiencia de EEO, independientemente del tamaño corporal, fue superior al 90% tanto en los peces testigos como en los experimentales (Tabla 1).

Al establecer las comparaciones de ODR entre ambas Clases de peso, no se obtuvieron diferencias ($P > 0.05$) entre los testigos ni entre los grupos de peces expuestos a 0.5 mg Cu²⁺/l (Tabla 1; Fig.1). En cambio cuando los peces se expusieron a 1.0 mg Cu²⁺/l el ODR de las carpas Clase A fue 42.9% más alto que en la Clase B ($P < 0.05$) (Fig. 2). En referencia al consumo de oxígeno (Tabla 1), no hubo diferencias entre los grupos testigo de ambas clases de peso (Tabla 1; $P > 0.05$). En el tratamiento con 0.5 mg Cu²⁺/L la tasa respiratoria fue 32.7% más baja en la Clase A que en la Clase B ($P > 0.05$), en cambio en el tratamiento con 1.0 mg Cu²⁺/l los peces Clase A tuvieron una tasa de consumo de oxígeno 39.5% mayor que los de la Clase B ($P > 0.05$) (Fig. 2).

Al comparar la eficiencia de extracción de oxígeno (EEO), entre las diferentes clases de peso, se observó tanto en los peces testigo como en los expuestos a las diferentes concentraciones del ión cúprico, que los peces grandes fueron más eficientes que los de menor talla (Tabla 1). En los testigos de clase B los valores de EEO fueron 7% superiores a

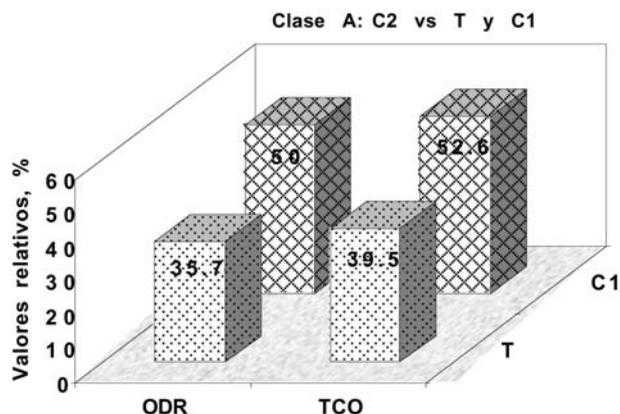


Fig1. Valores de las tasas fisiológicas de los juveniles de *Carassius auratus* Clase A, expuestas a 1.0 mg Cu²⁺/l(C₂) relativos a las del grupo testigo (T) y a las expuestas a 0.5 mg Cu²⁺/l (C₁). ODR:oxígeno disuelto residual; TCO: consumo de oxígeno.

los de clase A; en los especímenes expuestos a 0.5 y 1.0 mg Cu²⁺/l respectivamente (Tabla 1). Los peces de clase B tuvieron una eficiencia 6 y 5% mayor que los de clase A, estas pequeñas diferencias fueron significativas ($P < 0.05$).

DISCUSIÓN

Los especímenes empleados en este trabajo se obtuvieron en el Estado de Morelos en dos granjas aledañas con el fin de cubrir los requisitos estipulados en el mismo, en cuanto a la disponibilidad de organismos de las tallas adecuadas. Los resultados indicaron que la condición fisiológica de ambos grupos fue diferente; el peso corporal de los peces de la primera granja (Clase A) era menor que el de la segunda (Clase B) como se señaló anteriormente. Al respecto, Vázquez (2003) estimó la condición fisiológica de las carpas a través del factor de condición múltiple (KM) y encontró que dicha condición era superior en los peces Clase B. La variabilidad entre el KM observado en peces probablemente es reflejo de las diferencias en la calidad, la cantidad y la frecuencia del suministro del alimento (Kuri-Nivón, 1979) en las dos granjas, debido a que el alimento es el principal factor biótico que se debe tener en cuenta en el cultivo de peces (Pelgrom *et al.*, 1994). Por lo tanto, los juveniles de *C. auratus* de ambas granjas, se mantuvieron por más de un mes en condiciones controladas antes de exponerlos al sulfato de cobre; el tamaño corporal se consideró como otra variable.

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) y también es ampliamente utilizado en

tratamientos terapéuticos (Treves- Brown, 2000). Sin embargo, en concentraciones relativamente altas, dependientes de la especie y del tamaño, el ión cúprico tiene un efecto nocivo sobre el sistema respiratorio de los peces. En concentraciones subletales el cobre reduce el contenido de oxígeno y el pH sanguíneos (Leland & Kuwabara, 1985; Lydy & Wising, 1988).

En los juveniles de *C. auratus* se utilizó la prueba de desafío del oxígeno disuelto residual (ODR), como indicador del estrés producido por el ión cúprico, en concentraciones recomendadas para los tratamientos terapéuticos (Kinkelin *et al.*, 1985; Lázaro-Chávez, 1985) suponiendo que si la exposición al cobre provocaba estrés en las carpas, éstas no serían capaces de resistir la acción de otro estresor como es en este caso, el medio hipóxico (Wedemeyer & McLeay, 1981; Schreck, 1990). Por estas razones se seleccionó la prueba de desafío del ODR, ya que el cobre altera la tasa respiratoria de los peces, en tanto que el medio hipóxico aumenta el efecto dañino de los estresores (Lydy & Wising, 1988; Wedemeyer, 1997).

En los juveniles de la carpa dorada *C. auratus* se comprobó a través del ODR, que los baños de 30 min de duración en sulfato de cobre (1.0 mg Cu²⁺/l) provocaban estrés en los peces pequeños, en cambio en los de mayor tamaño no se detectaron los efectos adversos del metal, aparentemente. Estos resultados coinciden con Heath (1990), quien menciona que los peces pequeños son más afectados por el cobre debido a que lo acumulan más rápidamente que los grandes; el autor refiere que esto se debe a que la tasa de captación del metal, a través de la branquia, se relaciona con la tasa metabólica peso-específica. Heath (1987) también indica que la magnitud del oxígeno residual es proporcional a la concen-

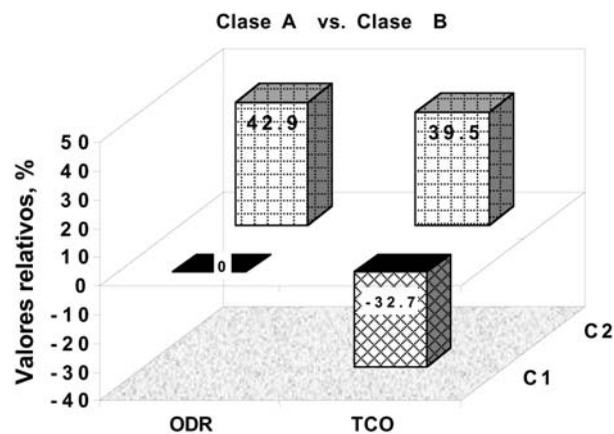


Fig. 2. Valores de las tasas fisiológicas de los juveniles de *Carassius auratus* Clase A, expuestas a 0.5 mg Cu²⁺/l (C₁) 1.0 mg Cu²⁺/l (C₂) relativos a los de la Clase B. ODR: oxígeno disuelto residual; TCO: consumo de oxígeno.

tración del tóxico a la que se exponen los peces, lo que no se pudo comprobar en la carpa dorada ya que sólo la mayor concentración de cobre produjo estrés en las carpas pequeñas y no tuvo efecto en las de mayor tamaño, como se estableció anteriormente (Vázquez, 2003).

De igual manera, los baños terapéuticos con sulfato de cobre durante 10, 20 30 y 60 min resultaron estresantes para la carpa herbívora *Ctenopharyngodon idella* (Valenciennes, 1844), con un deterioro mayor en los peces de menor tamaño, independientemente del tiempo de exposición (Jiménez *et al.*, 2000). En salmónidos (*Onchorynchus mykiss*: Walbaun, 1792) las concentraciones subletales del ión cúprico también tienen efectos nocivos para los organismos (Hodson *et al.*, 1979), lo cual se manifiesta en una mayor susceptibilidad a las infecciones comprobada mediante pruebas de desafío (Trevés-Brown, 2000).

La alcalinidad y la dureza total del agua, el pH y la temperatura modifican la toxicidad del cobre, mientras mayor sea el contenido de calcio y menor la acidez, menor será la toxicidad del ión cúprico, probablemente debido a la disminución de la permeabilidad de los tejidos y a la acción del ión calcio en el epitelio branquial donde produce cambios en la carga eléctrica haciéndolo más positivo, por lo que el catión sería repelido (Waiwood & Beamish, 1978; Sprague, 1985; Jobling, 1994; Newman & Jagoe, 1996; Perschbacher & Wurts, 1997). En los juveniles de *C. auratus* no se observó mortalidad durante los períodos de mantenimiento y tratamiento con cobre, ni en las 72 h postratamiento, lo que se atribuye a que las variables fisicoquímicas del agua mencionadas fueron adecuadas para las carpas más grandes y disminuyeron el estrés en las pequeñas. El tratamiento con sulfato de cobre consistió en la inmersión de los peces por 30 min, tiempo suficiente para la incorporación del metal acorde a Ling *et al.* (1993), quienes usaron la sal con objeto de proteger a la carpa dorada contra patógenos; indican que en las carpas expuestas a 288 µg/l de sulfato de cobre durante 15, 30, 60 y 120 min, el cobre fue absorbido durante todo el período de exposición. Cabe mencionar que la carpas en este trabajo, estuvieron en ayunas durante 48 h considerando toda la fase experimental y las 24 h previas. Como la materia orgánica ambiental y por ende la producción de heces disminuye la disponibilidad del cobre al formar complejos (Leland & Kuwabara, 1985; Heath, 1987; Jobling, 1994; Pelgrom *et al.*, 1994); tal situación favorable, pudo haberse presentado durante el período postratamiento, debido a la producción de heces de los peces alimentados en ese periodo. El cobre presente en el medio sería proveniente de la depuración del metal captado por los peces; éste proceso es lento ya que niveles importantes son retenidos en los organismos por más de dos semanas (Ling *et al.*, 1993; Trevés-Brown, 2000).

Con respecto al consumo de oxígeno, los organismos acuáticos tienen la capacidad para sobrevivir en condiciones deficientes en oxígeno, modificando sus respuestas respiratorias; en estas condiciones los peces pueden aumentar la frecuencia del batido opercular y la eficiencia de extracción de oxígeno del disponible en el medio, manteniendo constante la tasa de consumo de oxígeno (Burggren & Roberts, 1991). En contraste, en los juveniles de *C. auratus* se encontró un aumento en la tasa de consumo de oxígeno dependiente del tamaño corporal y de la concentración de cobre en el baño terapéutico.

En referencia a la tasa de extracción de oxígeno del disponible en el medio, ésta es considerada como indicador de los mecanismos de compensación fisiológica asociados al peso corporal, lo que fue comprobado en los juveniles de *C. idella* expuestos a concentraciones subletales de contaminantes endógenos como amonio y nitritos (Contreras & Espina, 1997) y exógenos como el cadmio (Espina *et al.*, 2000). En los juveniles de *C. auratus* al ser expuestos al cobre, la eficiencia de extracción se mantuvo relativamente alta (89-92%) aunque la influencia del peso se manifestó solo ligeramente (5- %). Tal discrepancia, probablemente se deba a las diferencias existentes entre los metales utilizados, ya que el cobre en contraste con el cadmio, es un metal esencial; también se debe considerar el estrecho intervalo de peso de los ejemplares de carpa dorada empleados en este trabajo en comparación con la amplitud del mismo en *C. idella*.

Los resultados del presente estudio son importantes para el cultivo óptimo de *Carassius auratus*, en la etapa juvenil, en cuanto al mantenimiento y alimentación. Asimismo, se recomienda evitar en lo posible, la manipulación de los peces cuando se someten a los baños terapéuticos, con el fin de enmascarar el estrés provocado por el ión cúprico y considerar la condición fisiológica y el tamaño de los peces, así como los niveles del ión cúprico en los tratamientos terapéuticos con sulfato de cobre.

REFERENCIAS

- BEAUMONT, W.M., P.J. BUTLER & W. TAYLOR. 1995. Exposure of brown trout, *Salmo trutta*, to sub-lethal copper concentrations in soft acidic water and its effect upon sustained swimming performance. *Aquatic Toxicology* 33: 45-63.
- BURGGREN, W. & J.L. ROBERTS. 1991. Respiration and metabolism. In: C.L. Prosser (Ed.), *Environmental and Metabolic Animal Physiology. Comparative Animal Physiology*, 4th Edition. John Wiley and Sons, Inc. Pub., New York. pp. 353-435.
- CONTRERAS, F. & S. ESPINA. 1997. Influencia de la temperatura sobre la tasa respiratoria de la carpa herbívora expuesta a las mezclas de amonio y nitrito. *Acta Toxicológica Argentina* 5: 87-90.

- ESPINA, S., A. SALIBIÁN & F. DÍAZ. 2000. Influence of cadmium on the respiratory function of the grass carp *Ctenopharyngodon idella*. *Water, Air, and Soil Pollution* 119: 1-10.
- HEATH, A.G. 1987. *Water Pollution and Fish Physiology*. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 245 p.
- HEATH, A.G. 1990. Summary and Perspectives. In: S. M. Adams (Ed.), *Biological Indicators of Stress in Fish*. American Fisheries Symposium 8. Bethesda, Maryland. pp. 183-191.
- HOAGLIN, D., F. MOSTELLER & J. TUKEY. 1991. *Fundamentals of exploratory analysis of variance*. John Wiley and Sons Inc., New York. 527 p.
- HODSON, P.V., U. BORGMANN & H. SCHEAR. 1979. Toxicity of copper to aquatic biota. In: J.O. Nriagu (Ed.), *Copper in the Environment*, Part II: Heath Effect. Wiley-Interscience, New York. pp. 307-372.
- HOOLE, D., D. BUCKE, P. BURGESS & I. WELLBY. 2001. *Diseases of Carp and other Cyprinids Fishes*. Fishing News Books. A Division of Blackwell Science Ltd., Oxford. 264 p.
- JIMÉNEZ, C.A., C. MALDONADO & S. ESPINA. 2000. Estrés producido por el sulfato de cobre en juveniles de carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*): tratamiento terapéutico. Resúmenes. Congreso Nacional de Zoología. Zacatecas, Zacatecas. 56 p.
- JOBLING, M. 1994. *Fish Bioenergetics*. Chapman and Hall, Fish and Fisheries Series 13, New York. 309 p.
- KINKELIN, P., C. MICHEL & P. GHITTINO. 1985. *Tratado de las Enfermedades de los Peces*. Editorial Acribia, Zaragoza. 329 p.
- KURI-NIVÓN, E. 1979. *Determinación del factor de condición múltiple (KM)*. Manual Técnico de Acuicultura. Departamento de Pesca, México. 21 p.
- LÁZARO-CHÁVEZ, E. 1985. *Sustancias, Desinfectantes y Drogas de Utilidad en las Piscifactorías*. AGT-Editor, México. 90 p.
- LELAND, H.V. & J.S. KUWABARA. 1985. Heavy metals. In: G.M. Rand and S.R. Petrocelli (Eds.). *Fundamentals of Aquatic Toxicology: Methods and Applications*. Hemisphere Publishing Corporation, New York. pp. 374-415.
- LING, K.H., Y.M. SIN & T.J. LAM. 1993. Effect of copper sulfate on ichthyophthiriasis (white spot disease) in goldfish (*Carassius auratus*). *Aquaculture* 118: 23-35.
- LLOYD, R. 1992. *Pollution and Freshwater Fish*. Fishing News Books. Blackwell Scientific Publications Ltd., Oxford. 176 p.
- LYDY, M.J. & T.E. WISSING. 1988. Effect of sublethal concentrations of copper on the critical thermal maxima (CTMax) of the fantail (*Etheostoma flabellare*) and johnny (*E. nigrum*) darters. *Aquatic Toxicology* 12: 311-322.
- NEWMAN, M.C. & C.H. JAGOE. 1996. *Ecotoxicology*. A Hierarchical Treatment. CRP Press Inc. Boca Raton, Florida. 411 p.
- PELGROM, S.M.G.J., L.P.M. LAMERS, J.A.M. GARRITSEN, B.M. PELS, R.A.C. LOCK, P.M.H.
- BALM & S.E. WENDELAAR BONGA. 1994. Interactions between copper and cadmium during single and combined exposure in juvenile tilapia *Oreochromis mossambicus*: Influence of feeding condition on hole body metal accumulation and the effect of the metals on tissue water and ion content. *Aquatic Toxicology* 30: 117-135.
- PERSCHBACHER, P.W. & W.A. WURTS. 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. Abstract: 556.
- SÁNCHEZ, M.C. 1994. *Cultivo de Peces de Ornato*. Editorial Sepes - Ciro, México. 29 p.
- SCHRECK, C.B. 1990. Physiological, behavioral, and performance indicators of stress. In: S. M. Adams (Ed.). *Biological Indicators of Stress in Fish*. American Fisheries Symposium 8. Bethesda, Maryland. pp. 29-37.
- SPRAGUE, J.B. 1985. Factors that modify toxicity. In: G.M. Rand and S.R. Petrocelli (Eds.). *Fundamentals in Aquatic Toxicology: Methods and Applications*. Hemisphere Publishing Corporations. New York. pp. 124-163.
- TREVES-BROWN, K.M. 2000. *Applied Pharmacology*. Kluger Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 309 p.
- 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 p.
- WAIWOOD, K.G. & F.W.H. BEAMISH. 1978. The effect of copper, hardness and pH on growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Fish Biology* 13: 591-598.
- WEDEMEYER, G.A. & D.J. MCLEAY. 1981. Methods for determining the tolerance of fishes to environmental stressors. In: A.D. Pickering (Ed.). *Stress and Fish*. Academic Press, London. pp. 247-275.
- WEDEMEYER, G.A. 1996. *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*. Chapman and Hall, New York. 232 p.
- WEDEMEYER, G.A. 1997. Effect of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: G.K. Iwama, A.D. Pickering, J.P. Sumpter and C.B. Schreck (Eds.) *Fish Stress and Health in Aquaculture*. Cambridge University Press, Cambridge. pp. 35-71.

Recibido: 10 de febrero de 2004.

Aceptado: 10 de diciembre de 2004.