

# BIOACUMULACIÓN POR METALES PESADOS EN EL CAPITÁN DE LA SABANA (*Eremophilus mutisii*), HABITANTE DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO BOGOTÁ.

ADRIANA RODRÍGUEZ FORERO M.Sc, PhD<sup>\*1</sup>  
JAIME FERNANDO GONZÁLEZ M.Sc, PhD<sup>1</sup>  
ROGER SUÁREZ<sup>1</sup>

Arawana de Colombia  
Fundación Al Verde Vivo<sup>\*1</sup>  
arawanadecolombia@yahoo.com  
Grupo de Investigación en Toxicología Acuática y Ambiental, FMVZ.  
Universidad Nacional de Colombia<sup>1</sup>

Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola  
año II, vol. 2, 2007. ISSN 1909 - 8138

## RESUMEN

Se evaluó el efecto tóxico de los metales pesados cadmio, plomo, cobre, hierro, zinc, magnesio, manganeso y cromo, en el agua y en la musculatura de capitanes de la sabana (*Eremophilus mutisii*) provenientes de un tramo del río Bogotá, correspondiente a la zona situada entre Villapinzón y Suesca. El estudio se basó en el uso de las técnicas empleadas por la Asociación Americana de Salud Pública (AFA) para el análisis de metales pesados en agua y músculo. Los resultados se obtuvieron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (SHIMATSU AA-680) y se expresaron en  $\mu\text{g/l}$  para agua y  $\mu\text{g/g}$  de peso, para músculo. Adicionalmente se midieron el pH, los nitritos, la alcalinidad y la dureza y fragmentos de piel, branquias, gónadas e hígado del capitán de la sabana, se fijaron en formol neutro al 10% y se procesaron para estudio histológico con coloración H-E con el fin de evaluar la morfología tisular y compararla con los otros análisis. Los resultados muestran que el agua presenta niveles nocivos de cromo ( $0.213 \mu\text{g/ml}$  y  $0.087 \mu\text{g/ml}$ ), manganeso ( $0.087 \mu\text{g/ml}$ ), plomo ( $0.017 \mu\text{g/ml}$ ) y hierro ( $0.79 \mu\text{g/ml}$  y  $0.93 \mu\text{g/ml}$ ) en Chocontá y Suesca (respectivamente) que se correlacionaron con las concentraciones de plomo ( $3.4 \mu\text{g/g}$  y  $3.1 \mu\text{g/g}$ ), cromo ( $1.8 \mu\text{g/g}$  y  $2.1 \mu\text{g/g}$ ) y cadmio ( $0.35 \mu\text{g/g}$  y  $0.48 \mu\text{g/g}$ ) encontradas en la musculatura del capitán de la sabana provenientes de Chocontá y Suesca respectivamente, sin diferencias significativas entre las zonas estudiadas ( $P > 0.05$ ). La histología mostró alteraciones graves en las branquias, con inflamación, hiperplasia de las laminillas branquiales, petequias y telangiectasias. No se observaron valores anormales de pH, nitritos, alcalinidad o dureza del agua. Se demuestra la importancia del capitán de la sabana *Eremophilus mutisii* como bioindicador. Las aguas de la cuenca alta del río Bogotá están contaminadas por el cadmio, plomo, cobre, hierro, zinc, magnesio, manganeso y cromo y sus concentraciones superan los límites permitidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). Los capitanes de la sabana están contaminados con plomo, cromo y cadmio, lo cual se refleja en las concentraciones encontradas por encima del límite permitido para músculo en peces y con la morfología interna de las branquias. Se deben realizar estudios más profundos para evaluar la contaminación por tóxicos provenientes de curtiembres, cultivos de flores, acueducto y otros factores antrópicos que afectan la calidad de sus aguas, el bienestar de los recursos

acuáticos que habitan la zona y su incidencia en el consumo humano. El estudio refleja la catástrofe ecológica que vive el río Bogotá y los efectos sobre su población íctica.

## 1. INTRODUCCIÓN

El río Bogotá nace en el páramo de Guacheneque (Villapinzón) y recorre 335 kilómetros, hasta su desembocadura en el río Magdalena en Girardot. En la cuenca del río habita cerca del 20% de la población del país y se genera el 28% de la actividad socioeconómica nacional. Recibe de los municipios 25.185 toneladas de carga orgánica al año y 149.633Tn de Bogotá. Para el 2.020 se estima que la descarga de residuos será de 49.811Tn por año en los municipios y en Bogotá de 240.455Tn (CAR, 1998). En la actualidad el río Bogotá es uno de los más contaminados del país y su recuperación se hace cada vez más difícil, a pesar de los esfuerzos continuos de diversas entidades. Por otra parte, en la cuenca alta del río se ubican 180 curtiembres, actividad que data de 1820 y se centra en el departamento de Cundinamarca y particularmente en Villapinzón y en Chocontá. Desde 1985 la industria ha crecido en un 30% (Ojeda, 2004). Según ACERCAR-DAMA, (1999) en Ojeda (2004), la industria de las curtiembres genera un alto impacto ambiental debido a la producción de gran cantidad de material contaminante. Sus residuos, vertidos como efluentes líquidos, residuos sólidos y emisiones atmosféricas afectan en distinto grado al río Bogotá, protagonista de una gran tragedia ecológica. Estos vertimientos generan pH altos, así como valores elevados de cal, sulfatos libres, sulfuros, cromo y se incrementan con la deposición de grasas animales, materia orgánica y sólidos suspendidos, lo cual se traduce en altas demandas de oxígeno (CAR, 1985).

Uno de los recursos más afectados por la actividad antrópica sobre el río Bogotá es la fauna, que ha desaparecido de la mayor parte del río. En el pasado, el curso alto del río y sus afluentes era rico en peces autóctonos como el capitanejo (*Pygidium bogotensis*), el capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*), la guapucha (*Grundulus bogotensis*) y el cangrejo sabanero (*Hypolobocera neostrangeria macropora*). Estas especies desaparecieron a partir del curso bajo de la desembocadura. En el curso medio del río los peces nativos desaparecieron en su totalidad como consecuencia de la fuerte contaminación. Entre ellos los más importantes desde el punto de vista económico son el bocachico (*Prochilodus reticulatus magdalenae*), el bagre pintado (*Pseudoplatystoma fasciatus*), el coroncoro (*Plecostomus tenuicauda*), la dorada (*Salminus affinis*), la sabaleta (*Brycon rubricauda*), la arenca (*Triportheus magdalenae*), la dorada mueluda (*Brycon moorei moorei*) y el barbudo (*Pimelodus clarias*) (Dahl, 1971, Epam, 1999).

Uno de los representantes más importantes de la ictiofauna del altiplano cundiboyacense es el capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*) (Figura 1). La especie es muy valorada en la rivera del río Bogotá y en embalses y represas como el Sisga, Fúquene o el Neusa y se pesca con frecuencia para el consumo de los pobladores de estas zonas. Este pez ha ido desapareciendo de las cuencas de los ríos del departamento cundinamarqués posiblemente por la contaminación de las mismas o por depredación de otras especies, aunque las causas aún no son exactas (Amaya, 1975, Del Castillo y Garzón, 1985; Mayorga, 1992). Los campesinos lo pescan tradicionalmente para luego venderlo en los mercados, obteniendo ganancias razonables. La captura se desarrolla sin ningún control por parte de las entidades gubernamentales y no hay procesos de capacitación para efectuar pescas controladas que aseguren la permanencia de la especie. Esto unido a la contaminación del río Bogotá y sus afluentes, incrementa su situación de especie amenazada (Mojica et al., 2002).

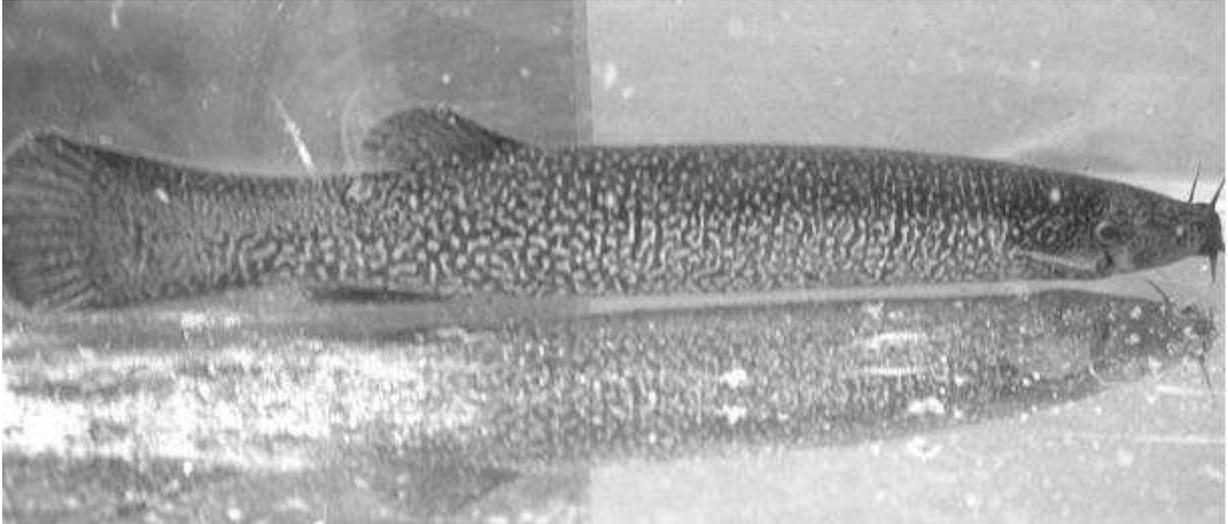


Figura 1. Capitán de la sabana (*Eremophilus mutissi*) (González, J.F - Laboratorio de Toxicología Acuática – Universidad Nacional)

Dentro de este contexto, el objetivo de este estudio fue caracterizar el efecto de la acumulación por metales pesados en los cuerpos de agua y en el capitán de la sabana, en la cuenca alta del río Bogotá.

## 2. METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el departamento de Cundinamarca en un sector del río Bogotá comprendido entre el municipio de Villapinzón ( $5^{\circ}13'09''$  de latitud Norte,  $73^{\circ}36'00''$  longitud Oeste, 2.750 m.s.n.m.), Chocontá ( $5^{\circ}09'$  de latitud Norte,  $73^{\circ}48'$  longitud Oeste; 2655 m.s.n.m.) y Suesca ( $N5^{\circ}10'54''$   $W73^{\circ}79'77''$ ; 2.636 m.s.n.m.).

Se tomaron 19 muestras de agua de dos zonas representativas: Chocontá y Suesca, mediante frascos plásticos estériles, en tanto que un total de 47 capitanes fueron pescados con anzuelo en las horas de la mañana y estabulados en tanques de 50 l de capacidad y separados con agua proveniente del mismo medio de donde fueron extraídos. Las muestras de agua (refrigeradas) y de peces se transportaron en un tiempo de 2 horas a Bogotá, al laboratorio de Toxicología Acuática de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional. Los capitanes fueron depositados durante 1 hora en acuarios separados por zonas de muestreo hasta que se procedió a su análisis. Cada animal fue sometido a una sobredosis de anestésico (tricaíno-metil-sulfonato, MS 222) durante 2 - 3 minutos. Durante ese tiempo los animales fueron pesados, medidos y sexados. Al cabo de 3 minutos se procedió a su sacrificio, luego de lo cual se disecaron y se tomaron porciones de branquias, piel y músculo, gónadas e hígado, los cuales se dividieron en dos partes para el estudio de los metales pesados y para el análisis histológico.

Los metales evaluados fueron: cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), magnesio (Mg), manganeso (Mn) y cromo (Cr). Los resultados se obtuvieron mediante un espectrofotómetro de absorción atómica (SHIMATSU AA-680), (según Asociación Americana de Salud Pública, AFA). Para el análisis de agua se utilizaron 100ml del líquido, en tanto que de la musculatura se procesaron 0.5 g de muestra y posteriormente se sometieron a digestión húmeda con ácido nítrico. Los resultados se expresaron en microgramos por gramo (Metodología adaptada de Newman, 1995).

La histología de la piel y músculo, branquias, gónadas e hígado se procesó mediante el método convencional. Muestras de 1cm<sup>3</sup> se deshidrataron en gradientes de etanol y se incluyeron en parafina, después se cortaron con un micrótopo en cortes de 7 micras de

espesor y se tiñeron con Hematoxilina-Eosina (H-E) con el fin de ser analizadas al microscopio.

Se realizaron análisis físico-químicos de 19 muestras de agua provenientes de Chocontá y Suesca durante los 5 meses de evaluación. Se estudió el grado de acidez o alcalinidad (pH) mediante potenciometría; la concentración de nitritos (NO<sub>2</sub>) (mg/l) mediante diazotización y la alcalinidad y dureza (CaCO<sub>3</sub>)(mg/l) por medio del Kit de Hach SF1 para análisis de calidad de aguas.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Biometría

De los 47 peces muestreados 31 provinieron de la zona de Chocontá (18 hembras: 13 machos; 1:0.72) y 16 de Suesca (9 hembras 7 machos: 1:0.78), adultos en su mayoría, con un promedio de longitud total de  $23 \pm 3.4$  cm y de peso de  $103.5 \pm 44.4$  g para los animales provenientes de Chocontá, en tanto que en Suesca, el promedio de longitud total fue de  $22.9 \pm 3.9$  cm y de peso de  $90.2 \pm 36.2$  g. No se observaron diferencias significativas en la especie con respecto a su peso y longitud y el lugar de procedencia.

Los animales presentaron una apariencia saludable, con coloración normal (verde con manchas amarillas y blancas) y abundante mucosidad. Un 5% de la población presentó algún síntoma de anormalidad reflejado en pequeñas úlceras en la piel y algunas heridas en la boca, propias de la manipulación debida a la pesca con anzuelo.

#### 3.2 Análisis de metales pesados

El análisis se dividió en dos, teniendo en cuenta las muestras obtenidas a partir de agua y de la musculatura de los animales.

##### 3.2.1 Análisis de metales pesados en el agua

En el agua se detectaron cadmio, plomo, cobre, hierro, zinc, magnesio, manganeso y cromo, con valores que en su mayoría superaron los límites establecidos por la *Environmental Protection Agency* (EPA). (Tabla 1). El cadmio y el cobre fueron detectados solamente en una ocasión. El zinc y el cromo se detectaron en dos muestras de agua en las dos zonas estudiadas. El manganeso y el plomo se detectaron en tres y cuatro ocasiones respectivamente. El magnesio y el hierro se encontraron en todas las muestras analizadas.

##### 3.2.2 Análisis de metales pesados en la musculatura del capitán de la sabana

De 47 animales examinados, 41 mostraron algún valor de contaminación por metales pesados. Los metales que se consideraron de presencia anormal en la musculatura de capitán fueron: cromo, cadmio y plomo. La presencia de cromo se detectó en 16 de 31 ejemplares muestreados en la zona correspondiente a Chocontá, en tanto que 5 de 16 peces muestreados en Suesca revelaron contaminación por cromo.

Tabla 1. Niveles de metales pesados en agua, encontrados en el estudio.

<b>Metal</b>	<b>Concentración en Chocontá</b>	<b>Concentración en Suesca</b>
<b>Cadmio</b>	<b>0.04</b>	
<b>Cobre</b>	<b>0.04</b>	
<b>Zinc</b>	<b>0.009</b>	<b>0.017</b>
<b>Cromo</b>	<b>0.213</b>	<b>0.08</b>
<b>Manganeso</b>	<b>0.087</b>	<b>0.014</b>
<b>Plomo</b>	<b>0.17</b>	<b>0.09</b>
<b>Magnesio</b>	<b>0.29</b>	<b>0.18</b>
<b>Hierro</b>	<b>0.79</b>	<b>0.93</b>

En este último tramo se observó el valor más alto de concentración, con 5.2mcg/g. Concentraciones de plomo se encontraron en 13 de 31 ejemplares examinados en Chocontá y en 11 de 16 ejemplares muestreados en Suesca, observándose el máximo valor, de 7.7mcg/g en Chocontá y de 7.3 mcg/g en Suesca. El cadmio se presentó en 15 de 31 ejemplares examinados en Chocontá y en 12 de 16 animales evaluados en Suesca. El valor más alto se detectó nuevamente en Chocontá: 1.18mcg/g.

El análisis mostró que no hay diferencias significativas en las concentraciones de metales pesados encontrados en músculo de capitanes provenientes de las dos zonas de muestreo. Los valores promedio se enuncian en la Tabla 2: En Chocontá: 3.4mcg/g de plomo, 1.8 mcg/g de cromo y 0.35 mcg/g de cadmio. En Suesca; 3.1 mcg/g de plomo, 2.1 mcg/g de cromo y 0.48 mcg/g de cadmio.

Tabla 2. Promedio de concentración de plomo, cromo y cadmio (mcg/g  $\pm$  e.s.) en musculatura de capitán de la sabana y niveles normales.

<b>Metal</b>	<b>FAO *</b>	<b>Chocontá</b>	<b>Suesca</b>
Plomo	0.22	3.4 $\pm$ 2.6	3.1 $\pm$ 2.0
Cromo	0.5	1.8 $\pm$ 2.6	2.1 $\pm$ 2.2
Cadmio	0.1	0.35 $\pm$ 0.4	0.48 $\pm$ 0.3

\* FAO/WHO, 1989.

### 3.3 Análisis histológico

Los análisis histológicos revelaron que un 20% de los animales tuvieron alteraciones de la arquitectura normal de la piel, asociada con infección bacteriana, con necrosis de la

epidermis y del tejido subyacente e inflamación que se extiende hasta el tejido muscular y que posiblemente se deba a alteración por la pesca y manipulación (Figura 2).

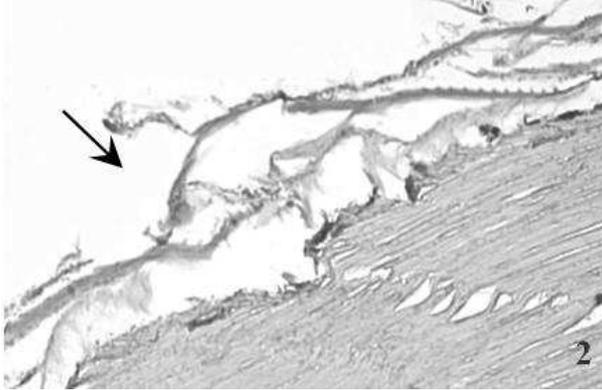


Figura 2. Histología de la piel de un espécimen afectado por infección bacteriana. Nótese el esfacelamiento de la epidermis.

Aproximadamente 70% de los peces presentaron anomalías en su estructura branquial: desprendimiento del epitelio branquial, necrosis e hiperplasia de la superficie epitelial de las laminillas branquiales con hemorragias en el extremo exterior de las mismas. Algunos cortes mostraron fusión de las laminillas branquiales y en otros casos (50%), grandes telangiectasias laminares o aneurismas y petequias, lo cual se traduce en que los capilares de las laminillas branquiales se dilatan y la sangre se estanca (Figuras 3, 4 y 5).

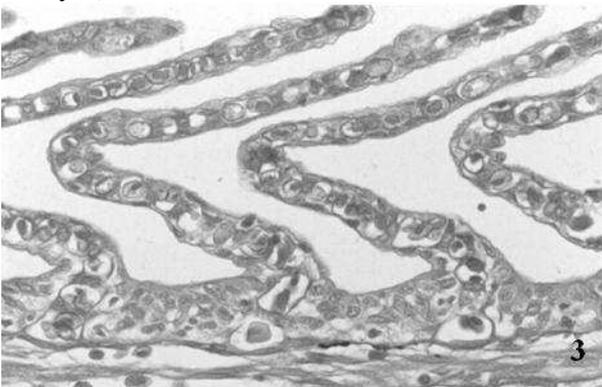
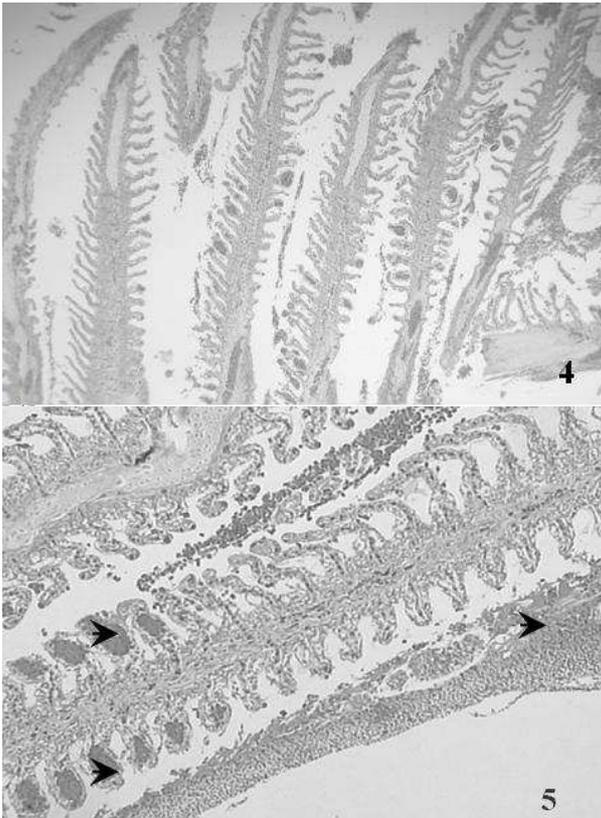


Figura 3. Branquia normal de un capitán capturado en el embalse de Tominé. Se ven las laminillas branquiales con una laminilla primaria y la disposición de las láminas secundarias. H-E, 25X.



Figuras 4 y 5. Se observa edema de las laminillas primarias, separación de la epidermis basal de las laminillas secundarias, hiperplasia y telangiectasia laminar trombosada (cabeza de flecha). H-E

La morfología microscópica mostró en el 90% de los individuos muestreados, hembras maduras con abundantes ovocitos llenos con vitelo, es decir en etapa de vitelogénesis o en etapa de madurez gonadal. No se observaron patologías en la arquitectura de este tejido.

Los machos mostraron diferentes estados de desarrollo: desde animales inmaduros, con tallas proporcionales de 9 a 12 cm, hasta animales maduros con tallas de 12 cm, lo cual equivale a un estado de madurez precoz para la especie. No se observaron patologías en éste órgano.

Los hígados muestreados tampoco mostraron alteraciones morfológicas.

### 3.4 Análisis de aguas

Los análisis de pH y nitritos y de dureza y alcalinidad mostraron valores normales para la zona de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Parámetros físico-químicos del agua. Zona de estudio.

Período	pH		NO <sub>2</sub> (ppm)		Alcalinidad (ppm CaCO <sub>3</sub> )		Dureza (ppm CaCO <sub>3</sub> )	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Mayo	5.5	5.6	0.26	0.01	34	34	17	17
Junio	6.7	6.9	0.04	0.004	34	34	17	17
Julio	6.6	6.6	N.D.	N.D.	34	34	17	26
Agosto	6.6	6.3	N.D.	N.D.	34	43	34	17
Sept.	6.5	6.3	N.D.	0.1	34	34	17	17

1) Suesca 2) Chocontá; N.D.: No detectado.

#### 4. DISCUSIÓN

A pesar de la diversidad de fuentes de contaminación por metales pesados, este estudio confirmó que muchos de los metales encontrados en agua y musculatura provienen las curtiembres que vierten sus efluentes a las aguas del río Bogotá.

El análisis de aguas demostró la presencia de metales pesados en aguas de Chocontá y Suesca (cadmio, plomo, cobre, hierro, zinc, magnesio, manganeso y cromo), los cuales superan los límites permitidos por la Environmental Protection Agency (EPA). La contaminación de los ecosistemas acuáticos por metales pesados constituye un grave problema ambiental (Rayms-Keller et al., 1998), ya que estos componen algunos de las más peligrosas sustancias que se pueden bioacumular en un organismo (Tarifeno-Silva et al., 1982). Los metales depositados en el medio acuático pueden acumularse en la cadena alimenticia, causar daño ecológico y poner en peligro la salud humana provocando cáncer ó daños del sistema nervioso central (USEPA 1992, Zwiég et al., 1999, van den Broek, 2002).

Por otro lado, hasta el momento no se conocen efectos nocivos para la salud humana del hierro y manganeso, metales encontrados en grandes concentraciones en el agua, durante este estudio. Sin embargo, las concentraciones elevadas de manganeso pueden acelerar el crecimiento biológico en los sistemas de distribución y contribuir a los problemas de sabor y olor en el agua, así mismo aumentan la demanda de cloro u otros oxidantes aplicados en la desinfección y ambos metales al precipitarse originan un color oscuro en el agua (Watanabe et al., 2003).

La toma de cromo y sus efectos en los teleósteos puede ser modificada significativamente por variables biológicas y abióticas como la temperatura y pH del agua, por la presencia de otros metales contaminantes, el sexo y la especificidad del tejido (Demirak et al., 2005). El efecto de pH del agua sobre la actividad del metal es compleja pues éste afecta la solubilidad y especiación de muchos metales (Carvalho y Fernández, 2006). Por ejemplo, en la trucha arco iris, la toxicidad aguda del cromo puede causar cambios morfológicos en branquias, riñón y tubo digestivo cuando el agua tiene un pH de 7.8, en tanto que éstos cambios sólo se ocasionan en branquias cuando el agua tiene un pH de 6.5 (van der Putte et al., 1981). La interacción de metales, aguas blandas y los cambios en el pH pueden incrementar potencialmente su acción tóxica. En

este trabajo se observó que las aguas estudiadas son de naturaleza blanda y que el pH se mantiene en valores normales o estables. Según los pHs encontrados en este estudio, es probable que los metales no se diluyan en el agua sino que se depositen en los sedimentos provocando una alta toxicidad en ese ambiente y en los individuos que se alimentan de éstos.

Se conoce que los metales pueden acumularse en los peces mediante la columna de agua, a través del sedimento o de la dieta y adicionalmente, se pueden acumular a través de la cadena alimenticia y eventualmente impactar en la salud humana. (Forstner & Wittmann, 1983, Alquezar et al., 2005). Los sedimentos son los más importantes reservorios de los metales o contaminantes en los sistemas acuáticos. Una exposición indirecta al sedimento contaminado tiene lugar cuando los peces consumen invertebrados bénticos que han ingerido material particulado, como es el caso del capitán. La exposición directa vía sedimento puede tener lugar por la liberación de material particulado contaminado en la columna de agua, por disturbios naturales o antropogénicos, los cuales resultan en una remobilización de los metales (Carvalho & Fernández, 2006). El capitán de la sabana es un pez omnívoro, que se alimenta de detritus, larvas de insectos, algunos moluscos y crustáceos (Amaya, 1975, Mayorga, 1992, Fundación Al Verde Vivo et al., 2003), razón por la cual se han encontrado concentraciones de cromo, cadmio y plomo en la musculatura de los peces estudiados que probablemente se originan de los sedimentos, pues estos se han depositado en el fondo del lecho del río debido a su insolubilidad con el agua.

La variabilidad de niveles de metales pesados en diferentes especies depende de los hábitos alimenticios, de las necesidades ecológicas, metabolismo, edad, tamaño y longitud del pez, así como de su hábitat (Watanabe et al., 2003, Demirak et al., 2005). Los resultados obtenidos sugieren que hay una relación significativa entre la composición de los microelementos en el agua y la acumulación de metales pesados en los tejidos del capitán, confirmando que este pez puede ser un bio-indicador de la contaminación del agua del río Bogotá. Los estudios obtenidos indican que los tejidos estudiados presentan concentraciones de cadmio, plomo y cobre por encima de lo permitido en el ámbito internacional (EPA).

El cadmio es uno de los metales más tóxicos y cancerígenos y su influencia en problemas óseos y en las deficiencias renales y hepáticas está ampliamente documentada en humanos (EPA, Demirak, et al., 2005, Alquezar et al., 2005). La toxicidad aguda (exposición de una sustancia a concentraciones que producen la muerte en 96 horas o menos) por cadmio en organismos de agua dulce se han reportado en concentraciones por debajo de 0.38  $\mu\text{g/l}$  (3.4 nM, US Environmental Protection Agency, EPA, 2001). En este estudio, las concentraciones están entre 0.38 y 0.48  $\mu\text{g/l}$ , lo cual significa que están sobre los límites permitidos.

En organismos acuáticos el cadmio puede bioacumularse, y su impacto varía ampliamente: los organismos de agua salada son más resistentes al envenenamiento por cadmio que los organismos de agua dulce. Los animales que lo consumen pueden tener la presión sanguínea alta, y lesiones en el hígado, los nervios y el cerebro (Environmental Resources Limited, 1990, Finnish Environmental Institute, 2000). La toxicidad para los peces depende, entre otros factores, del contenido de calcio del agua; así, cuanto mayor es el contenido de calcio en el agua, menor será el efecto tóxico del cadmio sobre los peces (DVGW, 1985). La aplicación de determinados fertilizantes o de excremento de animales en el suelo destinado al cultivo de alimentos, como es el caso de la zona de estudio, puede aumentar su nivel de cadmio, lo cual, a su vez, causa un aumento en el nivel de cadmio de los productos, en este caso del capitán de la sabana (Dugo et al., 2006).

El plomo llega al agua y a los suelos mediante la corrosión de tuberías de plomo en los sistemas de transporte y a través de la corrosión de pinturas que lo contienen. Este metal se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y del suelo, experimentando efectos en su salud por envenenamiento del mismo. De hecho, los crustáceos pueden verse seriamente afectados con pequeñas concentraciones (Demirak et al., 2005, Dugo et al., 2006). Así mismo, también se pueden alterar las funciones del fitoplancton. En los sistemas acuáticos, la concentración aumenta de la siguiente manera: agua < presas de los peces < peces < sedimentos (DVGW, 1985). Altas concentraciones de plomo como las encontradas en este estudio pueden dañar las branquias, causando problemas respiratorios, una baja habilidad para enfrentar las enfermedades, nacimientos de peces deformes, infertilidad, y formaciones tumorales (Alquezar et al., 2005). Los datos obtenidos infieren que hay una alta concentración de plomo en la musculatura de los capitanes, que puede resultar fatal para los animales a través de una exposición crónica, que a su vez provoca el daño branquial observado en la histopatología y secundariamente, puede afectar a los humanos que los ingieran. Los signos patológicos encontrados en la morfología tisular de las branquias de los capitanes están asociados con procesos de agresión por contaminantes de origen químico (Roberts, 2001)

El cromo +3 es un elemento estable, esencial para varios organismos, pero no se encuentra puro en la naturaleza. El cromo existe en estados oxidativos en un rango de +2 y +6 pero es más frecuentemente encontrado en el medio ambiente como ion trivalente (+3) o hexavalente (+6) y son los estados que pueden causar mayores daños (Elsier, 1986). El ion hexavalente es el más tóxico por la facilidad que tiene de penetrar en las membranas celulares (Elsier, 1986, Demirak et al., 2005). Este ion incrementa su concentración gracias a actividades relacionadas con las acerías, las peleterías y las industrias textiles, la pintura eléctrica, los pigmentos para las pinturas y otras aplicaciones industriales, que a su vez incrementarán las concentraciones en el agua. Este ion puede alterar el material genético y causar cáncer (Watanabe et al., 2003). A pesar de que no se han realizado muchos reportes en peces, altas concentraciones de cromo como las aquí halladas, debido a la abundancia de este metal en las aguas de Chocontá y Suesca, pueden dañar las branquias de los peces que nadan cerca de los vertidos y debido al carácter sedentario del animal, el daño es aún mayor. Se han demostrado alteraciones en las branquias en otros peces expuestos a cobre, (Bhatnagar, 1974, Gupta & Tyagi, 1979), cromo (Strik et al., 1975), cobre y zinc, formalina (Wedemeyer & Yasutake, 1974), endosulfato (Dalela et al., 1979), sulfato de cromo y níquel (Nath & Kumar, 1989, Wong et al., 1982).

También se ha reportado que concentraciones de Cr+6 entre 16 y 21 ppb (partes por billón), ocasionan una reducción en el crecimiento de la trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss* y el salmón *chinook*, *O. tshawytscha* y alteran el metabolismo plasmático del cortisol, en la trucha arco iris, después de 7 días exposición. Calamari et al., (1982), realizaron bioensayos en rudd (*Scardinius erythrophthalmus*), con 0.2ppm de Cr+6 y encontraron niveles elevados de este metal en riñón (3.5mg/kg de peso fresco), hígado (2) y músculo (0.6), concentraciones muy por encima de las encontradas en la musculatura de capitán de la sabana, en este trabajo.

Este estudio mostró graves alteraciones en la morfología branquial de los individuos muestreados en Chocontá y Suesca, hallazgos que sugieren una correlación con la función que desempeñan las branquias, pues debido a su gran superficie de área, son el primer objetivo para los metales pesados encontrados en el agua de estas dos zonas. En aguas bajas en sodio, como las aquí estudiadas, metales como el cobre o el cromo pueden ser ingeridos a través de la vía apical del sodio en las branquias e inhiben la captación de sodio, proceso que inhibe la enzima Na-K+ATP-asa. La interrupción de la

regulación iónica branquial debido a los altos niveles de cobre en el agua, pueden causar la mortalidad del pez. Se ha informado que el cobre causa daños severos en las branquias en el bocachico *Prochilodus scrofa* (Cerqueira & Fernández, 2002, van Heerden et al., 2004) y además, daño epitelial, desprendimiento de la epidermis, inflamación y proliferación de células del cloro y mucus (van Heerden et al., 2004). En este trabajo se observó daño branquial, telangiectasias, petequias en el capitán de la sabana, *E. mutisii*, hallazgos compatibles con origen por estos metales.

Las causas del daño branquial se deben a un incremento del espesor endotelial de las branquias que conduce a la disminución de la capacidad de difusión relativa del epitelio branquial lo cual conduce a hipoxia, como se ha visto en la trucha arco iris (van Heerden et al., 2004) y como se sugiere para la especie objeto de este estudio. El engrosamiento del endotelio branquial de los peces expuestos al cobre puede causar hipertrofia en las células de pavimento y telangiectasia laminar. Se sabe que esta es una respuesta compensatoria para defenderse de los metales que entrarán a las células de las branquias (Dang et al., 2000, van Heerden et al., 2004). Aunque se ha observado que puede haber una reversión del daño branquial, así como también un daño permanente por el incremento del número de células necróticas y apoptóticas debido a la hipertrofia tisular (van Heerden et al., 2004). Con el proceso de contaminación que lleva el río Bogotá, son pocas las esperanzas de que haya una reversión en el estado de salud de los peces habitantes de éstas zonas.

Por otra parte, no se observaron modificaciones morfológicas en el hígado, ni en las gónadas de éstos animales. La técnica histológica no es adecuada para detectar anomalías ocasionadas por contaminantes químicos en estos órganos. Es probable que las haya en hígado pues éste es el principal destino de desintoxicación y uno de los más importantes órganos de almacenamiento. El hígado es vital para la homeostasis de los metales y tiene la habilidad de reducir su toxicidad y el daño celular mediante la unión con proteínas nucleares como la metalotioneinas (van Heerden et al., 2004). Es probable que el capitán tenga una mayor habilidad para regular y reducir la cantidad de metales en el hígado, con relación a otros peces y que haya adquirido resistencia a contaminantes. Sin embargo, es necesario realizar análisis de concentraciones de metales pesados en el tejido hepático y gonadal con el fin de asegurar el conocimiento sobre su dinámica. Es probable que halla otros patrones que influenciarán la toma de metales y su tasa de regulación en peces que también deben ser profundizados. Este estudio demostró que el músculo y las branquias son órganos que ofrecen indicaciones tempranas sobre daños inducidos por contaminación con metales pesados en el capitán de la sabana en la zona comprendida entre Chocontá y Suesca.

En los sistemas acuáticos los peces se hallan en la cima de la cadena alimenticia y las concentraciones de metales en capitanes pueden actuar como un indicador ambiental del estado del medio ambiente. Los peces bioacumulan metales y su uso como biomonitores también tiene la ventaja de admitir la comparación de concentración de metales entre sitios, donde las muestras de agua están cerca o por debajo de los límites de detección con las técnicas de absorción atómica (Ramelow et al., 1989). En este caso, no se detectaron diferencias significativas entre los valores de metales pesados de musculatura de peces obtenidos de Chocontá o de Suesca, lo cual a su vez alerta sobre la gravedad generalizada de la toxicidad y su alcance.

El consumo de peces contaminados puede afectar de manera diversa y grave la salud de los humanos, produciendo resultados tales como cáncer, anomalías congénitas y alteraciones del sistema inmune y por eso su comercialización en los lugareños de la zona debe estar controlada por los organismos de salud del Estado.

En conclusión las aguas de la cuenca alta del río Bogotá presentaron pH, nitritos, alcalinidad y dureza dentro de valores normales. Es posible que su variación temporal interfiera en la toxicidad por metales encontrados en las aguas y en el sedimento. Estas aguas están contaminadas por metales pesados como el cadmio, plomo, cobre, hierro, zinc, magnesio, manganeso y cromo, cuyas concentraciones están por encima de los límites permitidos por la *Environmental Protection Agency*. Los 47 capitanes de la sabana muestreados en la zona de estudio presentaron alteraciones microscópicas en las branquias, como hiperplasia endotelial, telangectasias y petequias. También presentaron valores de cromo, cadmio y plomo en su musculatura, reflejo de su contaminación con el ambiente acuático deteriorado en que viven.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio se llevó a cabo gracias a la Fundación AL VERDE VIVO y a la financiación de EMGESA y MERCK Alemania.

## 5. REFERENCIAS

- ACERCAR-DAMA. 1999. Curtiembres: Planes de acción para mejoramiento ambiental. Unidad de Asistencia Técnica Ambiental para la pequeña y mediana empresa. Bogotá. 78 p.
- Alquezar, R., S., Booth, D. Booth. 2005. Metal accumulation in the smooth toadfish, *Tetractenos glaber*, in estuaries around Sydney, Australia. *Environmental Pollution XX*: 1 - 9.
- Amaya, R. 1975. Contribución al estudio biológico del capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii*, (*Humboldt, 1805*) en el Lago de Tota, Boyacá. *Tesis Biología Marina Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*. Bogotá. 110 p.
- Bhatnagar, S.L. 1974. *Proc. Natl. Acad. Sci. India*, 44B: 173.
- Carvalho, C.S. & Fernández M.N. 2006. Effect of temperature on copper toxicity and hematological responses in the neotropical fish *Prochilodus scrofa* at low and high Ph. *Aquaculture* 251, 109 - 117.
- Calamari, D., G.F., Gaggino, G., Pacchetti. 1982. Toxicokinetics of low levels of Cd, Cr, Ni and their mixture in long-term treatment on *Salmo gairdneri* Rich. *Chemosphere* 11: 59 - 70.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 1985. contaminación ambiental producida por la industria del curtido.
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). 1998. Cuenca Alta del Río Bogotá. Descripción y diagnóstico.
- Cerqueira, C.C.C., M.N., Fernández. 2002. Gill tissue recovery after copper exposure and blood parameter responses in the tropical fish *Prochilodus scrofa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 52, 83 - 91.
- Dalela, R.C., M.C. Bhatnagar, A.K., Tyagi, S.R., Verma. 1979. Histological damage of gills in *Channa gachua* alter acute and subacute exposure to endosulfan and rogor. *Mikroskopie*, 35: 301 - 307.
- Dahl, G. 1971. Los peces del norte de Colombia. INDERENA. Bogotá. 391p.
- Dang, Z., P.H.M., Balm, G., Flik, S.E., Wendelaar-Bonga, R.A., Lock. 2000. Cortisol increases Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase density in plasma membranes of gill chloride cells in the freshwater Tilapia *Oreochromis mossambicus*. *Journal of Experimental Biology* 203, 2349 - 2355.

- Del Castillo, B. & B. Garzón. 1985. Observaciones sobre la biología del capitán de la sabana *Eremophilus mutisii*, (Humboldt 1805) en condiciones de laboratorio con fines piscícolas. Tesis Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 281p.
- Demirak, T.A., F., Yilmaz, A.L., Tuna, N., Ozdemir. 2005. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern. *Chemosphere* XXX: 1 - 8.
- Dugo, G., L., La Pera, A., Bruzzese, T.M., Pellicano, V., Lo Turco. 2006. Concentration of Cd (II), Cu (II), Pb (II), Se (IV) and Zn (II) in cultured sea bass (*Dicentrarchus labrax*) tissues from Tyrrhenian Sea and Sicilian Sea by derivative stripping potentiometry. *Food Control* 17: 146 - 152.
- DVGW - DEUTSCHER VEREIN DES GAS- UND WASSERFACHES E.V. (Editor). 1985/88. "Daten und Informationen zu Wasserinhaltsstoffen" (Datos e información sobre sustancias contenidas en el agua) - Parte 1: 1985; Parte 2: 1988. Eschborn. Publicado en: "DVGW - Schriftenreihe WASSER" (Serie de publicaciones técnicas sobre AGUA, de la DVGW), N°48.
- Elsier, R. 1986. Chromium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. *Biological Report* 85(1.6) Contaminant Hazard Reviews. Report No. 6. Patuxent Wildlife Research Center. U.S. Fish and Wildlife Service. Laurel, MD 20708. 38p.
- Environmental Resources Limited. 1990. Evaluation of the Sources of Human and Environmental Contamination by Cadmium. Prepared for the Commission of the European Community, Directorate General for Environment, Consumer Protection and Nuclear Safety, London, February 1990.
- EPA. Compilations of EPA's Sampling and analysis methods. 2nd Edition. Edited by Lawrens, Keith.
- Epam Ltda. 1999. Plan de gestión ambiental de Santa fe de Bogotá. Síntesis diagnóstica. Problemas, áreas prioritarias y oportunidades. Informe preliminar. DAMA-Naciones Unidas. Bogotá.
- Gupta, A.K. & V.K. Tyagi. 1979. Proceeding Symposium Environmental Biology. 167 - 172.
- FAO/WHO, 1989. Evaluation of certain food additives and the contaminants mercury, lead and cadmium. WHO Technical Report Series No. 505.
- Finnish Environment Institute. 2000. Cadmium in fertilizers Risks to human health and the environment. Study report for the Finnish. Ministry of Agriculture and Forestry. October. 132p.
- Forstner, U., & G.T.W., Wittmann. 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment, second Ed. Springer, Berlin.
- Fundación Al Verde Vivo, Facultad de Ciencias Básicas - Programa de Biología Aplicada - Universidad Militar Nueva Granada, Departamento de Química - Universidad Javeriana. 2004. Hábitos alimentarios y vida reproductiva del capitán de la sabana *Eremophilus mutisii* del tramo del río Bogotá en el municipio de Suesca (Cundinamarca, Colombia). 45p.
- Linnik, P.M. & I.B., Zubenko. 2000. Role of Bottom Sediments in the Secondary Pollution of Aquatic Environments by Heavy-Metal Compounds. *Lakes and Reservoirs: Research and Management*. 5: 11 - 21.
- Newman, M.C. 1995. Métodos cuantitativos en Ecotoxicología Acuática. Boca Ratón, Florida. Ed. CRC. Lewis Publishers. 426p.
- Mayorga, M. 1992. Biología reproductiva y alimentación de las poblaciones de capitán de la sabana *Eremophilus mutisii* Humboldt 1805 (Pisces:

- Trichomycteridae), en la laguna de Fúquene. Tesis Biología Marina Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 73p.
- Mojica, J.I., C., Castellanos, J.S., Usma, R., Álvarez (Eds). 2002. "Libro Rojo de Peces dulceacuícolas de Colombia". La serie Libros Rojos de Especies Amenazadas de Colombia. Instituto de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Colombia, Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá, Colombia.
- Nath, K., & N., Kumar. 1989. *The Science of the Total Environment*, 80: 293 - 296.
- Ojeda, D. 2004. Diagnóstico ambiental por vertimiento de residuos de curtiembres al río Bogotá en el corredor industrial de Villapinzón-Chocontá cuenca alta del río Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de pregrado. Bogotá. 131p.
- Ramelow, G.J., C.L., Webre, C.L., Mueller, J.N., Beck, J.C., Young, M.P., Langley. 1989. Variations of heavy metals and arsenic in fish and other organisms from the Calcasien river and lake, Louisiana. *Archive of Environmental Contamination and Toxicology* 18: 804 - 818.
- Rayms-Keller, A., K.E., Olson, M., McGaw, C., Oray, J.O., Carlson, B.J., Beaty. 1998. Effect of heavy metals on *Aedes aegypti* (Diptera:Culicidae) Larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 39: 41 - 47.
- Roberts, R.J. 2001. *Fish Pathology*. 3rd Edition. WB Saunders London. 359p.
- Strik, J.J., H.H., de Longh, J.W.A., van Rijn, van Alkemade, T.P. Wuite. 1975. In: *Sublethal Effects of Toxic Chemicals on Aquatic Animals* (J.H. Koeman and J.J.T.W.A. Strik, eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 31 - 41.
- Tarifeno-Silva, E., L., Kawasaki, D.P., M.S., Gorden, D.J., Chapman. 1982. Aquacultural approaches to recycling dissolved nutrients in secondarily treated domestic waste waters: Uptake of dissolved heavy metals by artificial food chains. *Water Research*. 16: 59 - 65.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1992. *Quality Criteria for water*. EPA 440/5-86-001. Washington D.C.
- Van den Broek, J.L., K.S., Gledhill, D.G., Morgan. 2002. Heavy metal concentrations in the mosquito fish, *Gambusia holbrooki*, in the Manly Lagoon catchment. In: *UTS Freshwater Ecology Report 2002*, Department of Environmental Sciences, University of Technology, Sydney.
- Van Heerden, D., A., Vosloo, M., Nikinmaa. 2004. Effects of short-term copper exposure on gill structure, metallothionein and hypoxia-inducible factor-1 (HIF-1) levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquatic Toxicology* 69: 271 - 280.
- Van der Putte, I., M. A., Brinkhorst, J.H., Koeman. 1981. Effect of pH on the acute toxicity of hexavalent chromium to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquatic Toxicology* 1: 129 - 142.
- Watanabe, K.H., F.W., Desimone, A., Thiyagarajah, W.R., Hartley, A.E., Hindrichs. 2003. Fish tissue quality in the coger Mississippi River and health risks from fish consumption. *Science Total Environmental* 302 (1-3), 109 - 126.
- Wedemeyer, G.A., & W.T., Yasutake. 1974. The stress of formalin treatment in juvenile spring chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and steelhead trout (*Salmo gairdneri*). *Journal Fisheries Research Board Cannadian* 31(2):179 - 184.
- Wong, M.H., W.M. Lau, T.Y. Tong, W.K. Liu and K.C. Luk. 1982. Toxic effects of chromic sulphate on the common carp, *Cyprinus carpio*. *Toxicology Letters* 10, (2-3): 225-232.

Zwieg, R.D., J.D., Morton, M.M., Stewart. 1999. Source Water Quality for Aquaculture: A Guide for Assessment. The World Bank. Washington D.C.