

Análisis del Declive de la Especie *Eremophilus mutisii*

Trabajo de grado para obtener el título de

Ingeniero Ambiental

Carlos Andrés Caicedo Garzón

cacaicedog@unadvirtual.edu.co

2017

Directora

Sandra Milena Álvarez

Universidad Nacional Abierta y a Distancia

ECAPMA

Agradecimiento

A Dios, a mi familia y a mi directora de trabajo de grado Sandra Álvarez por su asesoría.

Resumen

Se efectuó una revisión bibliográfica sobre el pez *Eremophilus mutisii* especie endémica de la región Cundiboyacense-Colombia. El pez es conocido como el pez Capitán de la Sabana. Se analizó su declive poblacional por la intervención antrópica, determinando las causas y conociendo las estrategias de mitigación y conservación de la especie. Los factores que influyen en el declive de la especie *Eremophilus mutisii*, se categorizaron bajo los siguientes parámetros: Niveles de contaminación del agua, Introducción de especies-competencia por hábitat-alimento, y aprovechamiento indiscriminado de la especie. Seguidamente se ahondo en las técnicas piscícolas para reproducir la especie, revisando las estrategias de reproducción del *E. mutisii* en condiciones de laboratorio, analizando si estas prácticas son viables.

Los hallazgos encontrados indican que la condición del pez es crítica, ya que actualmente está extinto en la cuenca media del río Bogotá y humedales bogotanos (Mojica J. , 2012). Esto se debe principalmente a las industrias que realizan vertimientos a las aguas del río Bogotá en la cuenca alta y a los productos químicos usados en cultivos que ingresan al agua por escorrentía (Guerrero García, 2014).

Se conoce que la especie sobrevive en algunas zonas ubicadas entre Suesca y Chocontá, también en el embalse del Neusa donde se calcula sin datos exactos que esta la mayor cantidad de peces, de forma similar en la laguna de Fúquene. En la laguna de Tota y laguna de la Cocha en Nariño, fueron trasplantados para alimentar a la Trucha Arcoíris y se estima que en algunos afluentes menores de la cuenca alta del río Bogotá sobrevive sin tener datos sobre su abundancia, (Bastidas & Lemus, 2014).

Las investigaciones sobre técnicas de repoblamiento son prematuras, y están en etapa de desarrollo, destacándose, investigaciones realizadas por (González O. E., 2002) (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) (Pinilla, Abril, & González, 2006) (Prieto & Landines, 2015) (Rodríguez, Montaña, & Rodríguez, 2005) .

Se deduce que mientras no se protejan los cuerpos de agua de la cuenca alta del río Bogotá, el pez seguirá con su declive poblacional, limitándose a cuerpos de agua lénticos como el embalse del Neusa.

Tabla de contenido

1	Introducción.....	1
2	Objetivos.....	4
3	Marco Teórico	5
3.1	Descripción de <i>Eremophilus mutisii</i> Humboldt (1805).....	5
3.2	Hábitat Ecosistema y Ecología.....	6
3.3	Ecología del Pez.....	7
3.4	Reproducción	8
3.5	Importancia Ecológica.....	9
3.6	Efectos Negativos en su Hábitat.....	10
4	Factores del declive de la especie <i>Eremophilus mutisii</i>	11
4.1	Reducción del Hábitat	11
4.1.1	Afectación de los embalses para el <i>E. mutisii</i>	16
4.1.2	Embalse del Neusa.....	17
4.1.3	Lago de Tota.....	19
4.1.4	Laguna de Fúquene.....	23
4.1.5	Otros cuerpos de agua.....	27
4.1.6	Humedales de Bogotá.....	29
4.2	Contaminación por Metales Pesados.....	32

4.2.1	Consecuencias de los metales pesados en el <i>Eremophilus mutisii</i>	37
4.2.2	El plomo.....	39
4.2.3	El mercurio.....	42
4.3	Introducción de Especies Competencia por Hábitat y Alimento	44
4.4	Aprovechamiento Indiscriminado de la Especie	54
5	Estrategias de Conservación de la Especie <i>Eremophilus mutisii</i>	59
5.1	Reproducción del <i>Eremophilus mutisii</i> en su Hábitat Natural	60
5.1.1	Repoblación del <i>Eremophilus mutisii</i>	64
5.2	Reproducción del Capitán en Cautiverio	66
5.2.1	Consideraciones sobre la cría de peces.	71
5.2.2	Patologías asociadas a la reproducción en cautiverio del <i>Eremophilus mutisii</i>	76
5.2.3	El uso de las gonadotrofinas.	79
5.2.4	Métodos hormonales de reproducción.	82
6	Discusión	87
7	Propuesta de Conservación de la Especie.....	93
8	Conclusiones.....	98
9	Referencias	99
10	Anexos	114

Índice de tablas

Tabla 1 Distribución de Tamaños de <i>E. mutisii</i>	16
Tabla 2 Concentraciones comparativas de Metales pesados Chocontá Suesca.....	34

Índice de figuras

Figura 1. <i>Eremophilus mutisii</i>	6
Figura 2. Mapa Hidrográfico Cuenca Río Bogotá.....	7
Figura 3. El Pez Capitán... ..	15
Figura 4. Embalse del Neusa	18
Figura 5. Lago de Tota.....	19
Figura 6. Laguna de Fúquene.....	26
Figura 7. Laguna de la Cocha	27
Figura 8. Embalse del Muña	28
Figura 9. Humedal Santa María del Lago.....	32
Figura 10. Trucha Arcoíris.....	49
Figura 11. Preparación del Pez Capitán.....	57
Figura 12. Patologías Asociadas al Cautiverio <i>E. mutisii</i>	78

Anexos

Anexo A. Porcentaje de referencias usadas.	114
Anexo B. Referencias usadas en idioma extranjero.....	115

1 Introducción

La cuenca del río Bogotá cuenta con una longitud de 6000 km², siendo la más grande y representativa de la Sabana de Bogotá. Recorre en sentido noreste – sureste el departamento de Cundinamarca, desde su nacimiento en el municipio de Villapinzón a 3.300 m.s.n.m., hasta su desembocadura en el río Magdalena en el municipio de Girardot a una altura 600 m.s.n.m. La cuenca se encuentra dividida en tres tramos: La Cuenca Alta desde su nacimiento hasta el norte de la zona urbana del Distrito Capital, con una longitud de 165 km, la Cuenca Media, desde el inicio de la zona urbana de Bogotá hasta el Salto de Tequendama, con una longitud de 90 km y la Cuenca Baja, aguas abajo del salto de Tequendama hasta su desembocadura en el río Magdalena, con una longitud de 55 km (Pedraza et al., 2016).

A pesar que la calidad del agua en su nacimiento es buena, esta disminuye aguas abajo por la escorrentía de químicos utilizados en el cultivo de papa, a los que se le suman los vertimientos industriales del municipio de Villapinzón, provenientes de curtiembres y los del municipio de Chocontá (Murcia Delgado, 2013).

El impacto negativo en las aguas del río se observa desde la cuenca alta, debido a los vertimientos de alrededor de 170 curtiembres, con alto contenido de grasas, aceites y metales pesados, que contribuyen a la contaminación orgánica y bacteriológica del río en su trayecto, manifestando la existencia de metales tóxicos como el plomo (≥ 0.05 mg/L) o el cadmio (> 0.2 mg/L) y niveles muy altos de contaminación bacteriana (coliformes fecales, *E. coli*) que alcanzan concentraciones entre 105 y 107 NMP/100 ml. Además, en algunos puntos del río la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos totales (ST) se encuentran en el orden de 120 y 400

mg/L respectivamente, en tanto que la concentración de oxígeno disuelto presenta valores inferiores a 1 ppm, cuando las condiciones ideales son de 5 a 6 ppm. (Guiza Suárez, Londoño Toro, & Rodríguez Barajas, 2015).

En el sector de las curtiembres se presentan vertimientos y emisiones provocando altos niveles de contaminación, en consecuencia, ha venido afectando las fuentes hídricas. Esto se debe en gran medida a la presencia de industrias informales o familiares, las cuales no cuentan con el presupuesto necesario para implementar PTARs (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) lo que conlleva a la ausencia de controles de mitigación de esta problemática. La industria de curtiembres en Villapinzón, son de gran impacto debido a la implementación de procesos químicos e industriales que transforman las pieles animales en cuero, las aguas utilizadas en estos procesos, son aguas residuales, las cuales, sufren alteraciones de pH, es decir, dichas aguas contienen sustancias como cromo y plomo. que traen como consecuencia contaminación al medio ambiente (Murcia Delgado, 2013).

En el pasado, el curso alto del río y sus afluentes eran ricos en peces endémicos como el Capitanejo (*Pigydium bogotensis*), el Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), la Guapucha (*Grundulus bogotensis*) y el Cangrejo Sabanero (*Hypolobocera neostrangeria macropora*) cuya población se redujo por la baja calidad del agua. (González, Rodríguez, & Suarez, 2009)

El pez Capitán de la Sabana, *Eremophilus mutisii* es una especie endémica de Colombia que habita en la región Cundiboyacense, su pérdida de hábitat es consecuente con su decadencia poblacional y se manifiestan como puntos que justifican esfuerzos investigativos.

Actualmente, es posible encontrar *E.mutisii* en lagunas como Tota, Fúquene, embalse del Neusa, y en la cuenca alta del río Bogotá, teniendo en cuenta su distribución altitudinal y algunas

características ecológicas que le permiten tener una hábitat ideal. Adicional a esto se ha hallado en zonas con condiciones adversas, ya que la especie tolera bajas concentraciones de oxígeno disuelto donde se registran valores de 3.5 a 3.9 p.p.m. para temperaturas entre 14° y 16°C, y hasta 2.5 p.p.m. para 21°C. lo cual indica que la especie soluciona la carencia de oxígeno en su medio capturando oxígeno atmosférico. El *E. mutisii*, es un pez de hábito bentónico, esta característica le ha permitido sobrevivir en aguas extremadamente contaminadas y con alta demanda bioquímica de oxígeno como es el caso de determinadas localidades del sistema del río Bogotá. (Flórez & Sarmiento, 1989).

2 Objetivos

Objetivo general

Analizar el estado de la especie *Eremophilus mutisii* en la región Cundiboyacense-Colombia.

Objetivos específicos

Determinar los factores que influyen en el declive de la especie *Eremophilus mutisii*.

Conocer las estrategias de conservación de la especie *Eremophilus mutisii*.

3 Marco Teórico

3.1 Descripción de *Eremophilus mutisii* Humboldt (1805)

Hace aproximadamente cincuenta millones de años la placa continental de Suramérica dio inicio a una colisión tectónica, contra tres placas más que conformaban el fondo del océano tropical que existía en aquel entonces, dando origen al levantamiento de lo que hoy se conoce como cordillera de los Andes. Al retirarse las aguas marinas, se formaron las tres cordilleras que cruzan a Colombia. En una de ellas sobre la cordillera oriental se encuentra la zona denominada Cundiboyacense. Esta zona se caracteriza por tener paramos y abundantes fuentes hídricas con una rica biodiversidad de especies y poblaciones de diversos peces en el territorio, entre ellas el pez Capitán de la Sabana *Eremophilus mutisii*, que desarrollo poblaciones exclusivas de este ecosistema considerándose una especie endémica (Bastidas & Lemus, 2014).

El Capitán de la Sabana, *Eremophilus mutisii*, es una de las especies nativas más representativas de la sabana de Bogotá y de Boyacá, Colombia. por ser el único bagre de aguas frías con buenas posibilidades de producción en piscicultura. (Rodríguez et al., 2005). El género *Eremophilus* significa “amante de la soledad” haciendo alusión a la tranquilidad donde se capturo por primera vez esta especie, el epíteto *mutisii* fue el reconocimiento al botánico José Celestino Mutis. La primera descripción del pez realizada por Humboldt en 1805 dice: “habita en el pequeño río de Bogotá, que forma la famosa catarata del Tequendama” aquí se describe la localización de la especie y detalla lo que era el río Bogotá en su época. También se evidencia en las observaciones de Humboldt que el pez tenia potencial gastronómico “. El capitán es una comida muy agradable, catalogándose como una comida típica de Santa fe de Bogotá, durante celebraciones religiosas de los habitantes de la capital. Se conocen registros en peso entre 250 a

350 g y talla de 400 mm de longitud, considerándose el bagre de mayor tamaño existente en cuerpos de aguas frías. Es evidente la ausencia de aletas pélvicas (lo cual lo diferencia del Capitanejo) y sus hábitos lo clasifican como un pez bentónico y carnívoro; de reproducción anual, presentado desove en meses de alta precipitación (González & Rosado, 2010).

La longitud estándar y el peso total promedio tienden a disminuir a medida que desaparece la condición lotica del río. Las tallas superiores (Figura 1) presentan mayor frecuencia en los ríos y la cola de los embalses. No obstante, los ejemplares más grandes se capturan en embalses. Sus tallas abarcan entre 145 mm y 350 mm. Las hembras alcanzan las tallas y pesos mayores teniendo en cuenta el estado avanzado de madurez sexual. En la relación peso total - longitud total para machos y hembras, no se observa una marcada diferencia (Andrade López, 2006) .

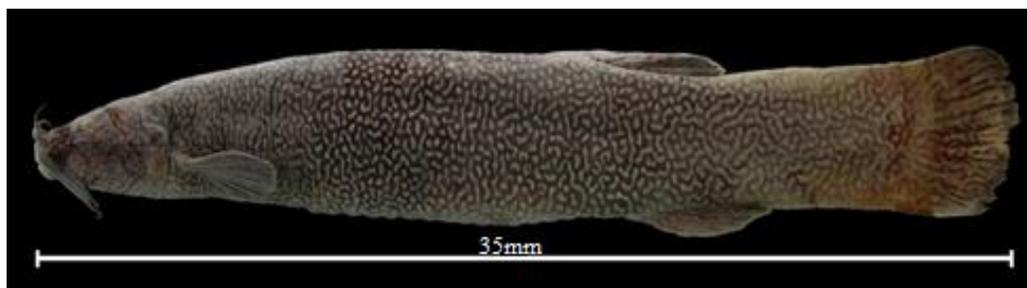


Figura 1. *Eremophilus mutisii* Fuente: (Donascimento, 2017)

3.2 Hábitat Ecosistema y Ecología

Su hábitat corresponde a lagunas, embalses, pantanos y aguas en donde el flujo es lento entre ellas los embalses del Neusa, Sisga, Tominé, laguna de Fúquene en el departamento de Cundinamarca y en municipios como Duitama y Sogamoso del departamento de Boyacá. Su distribución según el estudio realizado por (Flórez & Sarmiento, 1989), corresponde a aguas

lenticas. donde la geomorfología del terreno no establece valles, como son la laguna de Suesca a 2.860 m.s.n.m., el Lago de Tota a 3.030 m.s.n.m. y el embalse del Neusa a 3.080 m.s.n.m. Se sabe que 3 localidades se refieren a aguas lenticas de las Lagunas de Cucunubá 2.540 m.s.n.m., Palacio 2.550 m.s.n.m. y Fúquene 2.500 m.s.n.m., en los valles de Ubaté y Chiquinquirá. Tres localidades corresponden a los embalses del Sisga, 2.670 m.s.n.m., Tominé 2.600 m.s.n.m. y Muña. 2.530 m.s.n.m. Se encuentra en ríos de corriente moderada con cotas promedio entre 2.558 m.s.n.m. a 2.600 m.s.n.m. (Figura 2).



Figura 2. Mapa Hidrográfico Cuenca Río Bogotá Fuente: (Campos, 2017).

3.3 Ecología del Pez

El tipo de ambiente que prioriza el pez Capitán, (Bastidas & Lemus, 2014) mencionan que se destaca el hecho de que prefiere los fondos de remansos en ecosistemas lóticos y los fondos de ecosistemas lénticos, allí elige sustratos fangosos o lodosos producto de la

sedimentación, como áreas para morar y alimentarse; aunque pueden merodear las rocas finas y gravilla o vegetación flotante, en busca de alimento y realizar migraciones al litoral.

Particularmente en ecosistemas lóticos como ríos y quebradas, el pez Capitán prefiere zonas de alta turbidez, se disponen en los meandros con remansos, de fondo lodoso, arcilloso o fangoso, donde los árboles extienden sus raíces, encontrando allí cavernas que le proveen de sombra en el espejo de agua. En estos lugares en épocas de invierno, permanecen refugiados o enterrados a profundidades mayores a los 0,6 m y en épocas de verano, cuando la corriente de los ríos disminuye o se seca, pueden establecerse en zonas de gravilla fina o charcas con hojarasca en busca de alimento.

En cuanto a su dieta, el pez Capitán de la Sabana, tiene una dieta omnívora con mayor predilección de una dieta carnívora que incluye: Anélidos, moluscos, crustáceos e insectos, en especial larvas de chironómidos del género *Chironomus* spp. Sin embargo, en la actualidad se considera que la especie abandona los fondos de su hábitat, lodosos y orienta su alimentación hacia la fauna del perifiton; la vegetación acuática, en especial la flotante (Jiménez & Pinto, 2005).

3.4 Reproducción

El ciclo reproductivo de la especie *Eremophilus mutisii*, se realiza en las orillas de las corrientes de agua y actualmente en los cuerpos de agua léticos como el Neusa, se registra en época de lluvia en los litorales. La estrategia reproductiva del pez consiste en aprovechar las épocas invernales, donde sucede una migración masiva del pez hacia las orillas del embalse, un fenómeno reproductivo conocido como subienda o rebote, donde machos y hembras se reúnen para el cortejo y fertilización de ovas. Esto se ha documentado en los embalses del Neusa y Tominé, es así como lo describe (Flórez & Sarmiento, 1989). También ocurre una migración

estacional, que consiste en que el pez migra a los litorales de los cuerpos de agua durante la época de invierno para desovar. En tanto que los adultos desovados migran posiblemente al hipolimnion.

En la relación del número de huevos y el peso de la gónada se observa un aumento del peso de la gónada al aumentar el número de huevos, pero se dan discrepancias entre alto número de huevos y bajo peso de la gónada (Flórez & Sarmiento, 1989).

3.5 Importancia Ecológica

La importancia ecológica del *E. mutisii* se debe a que se trata de una especie de bagre de alta montaña, endémico y bentónico, que cumple una función de limpieza de los fondos lodosos de los ríos y hace parte de la cadena trófica.

De acuerdo con lo observado y reportado por (Flórez & Sarmiento, 1989) (Piedrahita & Ruiz, 1994) y (Valderrama, 2007), en lagunas, lagos, embalses y ríos de aguas lodosas y turbias, el pez que se encuentra con mayor frecuencia asociado al *E. mutisii* es la Guapucha (*Grundulus bogotensis*). No obstante, estas especies pueden estar asociadas con la Carpa (*Cyprinus carpio*), especie introducida, como ocurre en la laguna de Fúquene o con el pez Dorado (*Carassius auratus*), también introducido. (Bastidas & Lemus, 2014) resaltan que en algunos embalses como Neusa y Sisga se encuentra el *E. mutisii* asociado a *Oncorhynchus mikiss* (Trucha). De igual manera, en su hábitat el Capitán se asocia con el Cangrejo de la Sabana (*Neostrengeria macropa*), con el pez Guppy (*Poecilia reticulata*), y con dos peces introducidos: la Carpa (*Cyprinus carpio*) y el pez Dorado (*Carassius auratus*) perteneciente a su ecosistema acuático.

Es una especie territorial de hábitos bentónicos y actividad nocturna, su dieta es detritívora y carnívora (consume macro invertebrados acuáticos), se reproduce durante todo el

año, puede vivir con muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua, puesto que puede tomar aire directamente de la atmósfera (Cala, 1986). Las poblaciones de Capitán que habitan embalses y lagunas realizan migraciones desde el fondo hacia los litorales (subienda) para realizar el desove (reproducción), de acuerdo con las estaciones de lluvia; es decir, cuando estos cuerpos de agua están anegados o inundados (Flórez & Sarmiento, 1989); (Rosado, Alvarez, González, & Suárez, 2007).

3.6 Efectos Negativos en su Hábitat

El concepto de (Rincón Sánchez, Juárez, & Martínez, 2009), menciona que los ecosistemas acuáticos tienen una estructura compleja y como el resto de los sistemas ecológicos, presentan flujos unidireccionales de energía y flujos cíclicos de materiales que a través de los ciclos biogeoquímicos, permiten que los compuestos de la materia orgánica se puedan degradar a formas minerales simples y posteriormente, ser reintegrados a través de los productores primarios a la materia orgánica viva.

El atributo de los ecosistemas de mantener su homeostasia y tener resiliencia les permite, dentro de ciertos límites, soportar impactos causados por la introducción de materiales exógenos que pueden ser incorporados en este flujo dinámico de materiales. Éste es el principio de la capacidad auto depurativa que, a su vez, está relacionada con la capacidad asimilativa de los ecosistemas, lo que les permite amortiguar el impacto de la introducción de contaminantes químicos. No obstante, dentro del hábitat del pez Capitán encontramos que el exceso de contaminantes en la cuenca alta de río Bogotá, así como la reducción de los espejos de agua como es el caso de la laguna de Fúquene, donde se supera la capacidad de recuperación del hábitat, ha mermado su población de tal forma que se encuentra catalogado como especie amenazada según el libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia (Mojica J. , 2012).

4 Factores del declive de la especie *Eremophilus mutisii*

Se identificaron tres factores determinantes a tratar, causantes del declive de la población del pez *E. mutisii*: La contaminación del agua, la introducción de especies y el aprovechamiento excesivo de la especie, se eligieron estos tres factores teniendo en cuenta:

1. La disminución de la población por reducción del hábitat, la calidad de las aguas del ecosistema donde la especie habita y como se ha visto afectado por la intervención antrópica.
2. Las especies introducidas compiten por hábitat y alimento con las endémicas, se precisa conocer si el *E. mutisii* se ha visto afectado por alguna especie introducida.
3. El pez hace parte de la dieta de la población rural principalmente, y se desea indagar si existe un aprovechamiento sin control de la especie.

En base a estos factores autores como, (Alvarez, González, & Forero, 2002) (González et al., 2009), (Guerrero García, 2014), (Moncaleano Niño & Calvachi Zambrano, 2009) (Valderrama & Hernández, 2005) han desarrollado sus investigaciones.

4.1 Reducción del Hábitat

Las contaminaciones del agua incluyen grandes afectaciones a la diversidad biológica de los ríos, lagos, lagunas, mares y desde luego a la salud humana. Se conoce de la peligrosidad de sustancias inorgánicas, como el mercurio, el arsénico y el plomo, por su resiliencia a lo largo de las cadenas tróficas y sus efectos nocivos dentro de cada individuo (Pedraza, et al, 2016).

Los lagos son especialmente vulnerables a la contaminación. El mayor problema que presentan es el fenómeno de la eutrofización, que se produce cuando el agua se enriquece de modo excesivo con nutrientes, lo que produce un crecimiento anormal de las plantas. Los fertilizantes químicos arrastrados por el agua desde los campos de cultivo son los responsables (Zeitoun & Mehana, 2014) .

El proceso de eutrofización puede ocasionar problemas físicos, como la disminución del oxígeno en las aguas más profundas y la acumulación de sedimentos en el fondo de los lagos, así como cambios químicos como en DQO, DBO, que perjudica el desarrollo de la vida dentro de los cuerpos de agua. El cadmio por ejemplo presente en los fertilizantes puede ser absorbido por los organismos; de ser ingerido en cantidad suficiente, el metal puede producir un trastorno metabólico, especialmente lesiones en el hígado (Zeitoun & Mehana, 2014).

El pez ha sufrido los embates del crecimiento de asentamientos humanos y el desarrollo industrial, especialmente, por los cultivos que se desarrollan en la parte alta de la cuenca del río Bogotá, por lo tanto, sus avistamientos en su ambiente natural son escasos.

El pez Capitan de la sabana se ha reportado principalmente en el Lago de Tota, la laguna de Fúquene y en el embalse del Neusa . En la laguna de Fúquene la especie ha sobrevivido, a pesar de que se ha reducido en las últimas décadas el cuerpo de agua, en la laguna de Tota, y en el embalse del Neusa la especie se estableció luego de que se represara el río cubillos que nace en el paramo de Guerrero , en lugares como el embalse del Muña la especie no subsiste en la actualidad (Bastidas & Lemus, 2014) (Flórez & Sarmiento, 1989) (Mojica J. , 2012).

El embalse del Nesusa es un lugar especial para el pez, porque allí se encuentran grandes cantidades , ya que es una zona protegida por la CAR (Corporacion Autonoma Regional), sin

embargo los embalses presentan muchos inconvenientes. En general, estos causan una reducción de la magnitud de las avenidas abajo de la presa, cosa que puede originar un establecimiento más lento de la vegetación de ribera, una reducción del hábitat de la llanura de inundación disponible para los peces o la creación de un hábitat de aguas lentas más favorable para el crecimiento.

Además, este descenso de caudales provoca un aumento de la deposición de materiales finos, que pueden colmatar y afectar a los macro-invertebrados acuáticos propias de los lechos de gravas.

En función del objetivo principal del embalse, podrán existir otros importantes efectos (Córdova Carmen, 2015). Así, los embalses destinados al riego pueden provocar una disminución del caudal medio anual a causa del consumo del agua por la agricultura y en parte a la evaporación de los embalses. Además, a menudo dan lugar a un patrón temporal de caudales inverso al natural, con altos caudales en verano y bajos caudales en invierno, modificando las cadenas tróficas y la productividad del ecosistema fluvial. Cuanto mayor sea la intensidad de la alteración mayor será el efecto sobre el número de especies, sobre la calidad del hábitat y del bosque de ribera. Los embalses hidroeléctricos, a menudo causan importantes variaciones del caudal turbinado a escala diaria, e incluso semanal, en respuesta a los picos de demanda de consumo eléctrico, reduciendo el hábitat efectivo disponible y la productividad acuática. Esta alta variabilidad de los caudales aumenta el arrastre de los macro-invertebrados por la corriente. (Córdova Carmen, 2015).

El problema ambiental más relevante que se presenta a causa de la construcción de los embalses es la intervención y cambio en los cauces de los ríos, y del régimen de sedimentación de estos cuerpos de agua, por la construcción de infraestructura hidráulica. Los embalses en Colombia hacen parte del eje de la economía nacional, como productores primarios de la electricidad y por brindar espacios turísticos, generándole ingresos al país, y en la región

Cundiboyacens. No obstante, estas ventajas de los embalses perjudican la ecología natural de estos cuerpos de agua fragmentando los ecosistemas fluviales, aislando las comunidades bióticas, de las cuenca altas de las que habitan en la cuenca media y baja , se interrumpen las migraciones y los movimientos de las especies, y se aísla el río de las planicies y litorales (Córdova Carmen, 2015).

La reducción del nivel de agua a menudo resulta en concentraciones más altas de biomasa de fitoplancton y menor transparencia del agua en embalses. Del mismo modo, un aumento del nivel del agua a menudo conduce a una reducción de la biomasa y fitoplancton a través de la dilución. La mayoría de los estudios realizados en lagos poco profundos también revelaron que un nivel de agua reducido puede resultar en un aumento en la cobertura de macrofitos, aunque también ocurre el patrón inverso, especialmente en lagos profundos y embalses profundos. Los efectos sobre el zooplancton y los peces han reportado perjuicios sobre la reproducción y el desove de los peces. Los efectos varían con la región climática y la magnitud de los cambios en la hidrología. Todos los factores que potencian la eutrofización aumentarán el riesgo de que las cianobacterias florezcan, los cambios en la estructura de la red alimenticia y la mayor temperatura son causas contributivas adicionales, al desarrollo de los peces. (Jeppesen et al., 2015).

A partir de los resultados obtenidos por (Andrade López, 2006). se observa un impacto negativo de la construcción de embalses sobre la población de *Eremophilus mutisii*, esto se comprueba en los tamaños mayores de los peces que se encuentran en el río y la cola del embalse, y no dentro del embalse. La presencia de la especie en embalses no implica que se haya adaptado exitosamente (Figura 3).



Figura 3. El Pez Capitán Fuente: (Agencia de Noticias UN, 2015)

El cambio del ambiente lóxico a léxico que implica la construcción de un embalse no es asimilado por la mayoría de las especies y solo unas pocas que habitan los remansos del río, logran adaptarse al embalse. El *E. mutisii* es una de las especies nativas que no ha logrado adaptarse con éxito a embalses de zonas altas debido a la variación en la configuración ecológica (Bastidas & Lemus, 2014).

Los tamaños de *Eremophilus mutisii* encontrados por (Bohórquez, Hurtado, Jiménez, López, & Pinto, 2012) en sistemas acuáticos, tales como el lago de Tota, Quebrada Honda y los embalses del Muña y Neusa señala que las tallas de hembras y machos varían en cada sistema. Tampoco es evidente que la talla corresponda a un dimorfismo sexual generalizado, pues no en todos los cuerpos de agua mencionados, las hembras son mayores que los machos (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Distribución de Tamaños de *E. mutisii*

Área de Estudio	Muestra(n)	Ecosistema	TALLA (cm)					
			MACHOS			HEMBRAS		
			Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media
Lago de Tota	365	Léntico	17,7	28,2	20,8	18,3	30,0	24,8
Embalse del Muña	150	Léntico					29,2	
Embalse de Tominé	103	Léntico	12,0	22,2		14,4		
Quebrada Honda	4	Lótico		28,5			37,5	
Laguna de Fúquene	620	Léntico	11,0	32,3	24,3	11,0	32,3	24,3
Embalse del Neusa	150	Léntico	10,1	36,0		10,1	36,0	
Laguna de Suesca	52	Léntico	26,0	38,0		26,0	38,0	
Tramo Río Bogotá en el municipio de Suesca	57	Lótico	15,1	26,7	21,6	15,0	31,5	23,4
Río Cormechoque Embalse de la Copa	162	Léntico Lótico	25,0	28,0		25,0	28,0	
Tramo del Río Bogotá en el Municipio de Chocontá		Lótico	28,6	35,4	32,0	28,6	35,4	32,0
Tramo del Río Frío en el municipio de Cajicá	4	Lótico			26,5			26,5
Tramo del Río Checua en el municipio de Nemocon	8	Lótico			29,8			29,8

(Bastidas & Lemus, 2014)

4.1.1 Afectación de los embalses para el *E. mutisii*. La construcción de los embalses y de más estructuras que alteran el curso hídrico ha llevado a que surjan problemáticas sujetas a las características donde se establecen estas megas estructuras.

La construcción de un embalse se realiza con el propósito de generar energía hidroeléctrica, riego, agua potable y control de inundaciones. El aumento de la población mundial, las

crecientes necesidades de agua y energía tanto en los países desarrollados y en aquellos en vía de desarrollo hacen que la construcción de presas siga creciendo en el mundo. Esto determina un cambio en las condiciones fisicoquímicas del agua, como turbiedad, el cambio de ambiente lótico a léntico, la oxigenación del agua la sedimentación, que conlleva a que muchas especies de peces no se adapten satisfactoriamente a estas condiciones (Flórez & Sarmiento, 1989).

La sedimentación es el mayor problema en los embalses de Colombia. Por manejos ambientales inadecuados de las cuencas productoras de flujo superficial se desencadenan estas dificultades de sedimentación, que se traducen en la pérdida de la vida útil del embalse. Estas estructuras causan cambios en el ambiente que son irreversibles en el ecosistema, cambios directos en los suelos, la vegetación, la fauna, tierras silvestres, la pesca, el clima, y perjuicios sociales. (Grattz, 2012).

4.1.2 Embalse del Neusa. La cuenca del río Neusa se encuentra localizada en la parte alta de la gran cuenca hidrográfica del río Bogotá, con una extensión de 449,08 km² lo que representa el 7,6% de su área total.

Comprende los municipios de Tausa, Cucunubá, Suesca, Cogua, Nemocón, Zipaquirá y Tocancipá del departamento de Cundinamarca. El embalse del Neusa está ubicado a una altura de 3.000 m.s.n.m. con temperaturas promedio de 10°C, la construcción del embalse comenzó como un proyecto para la generación de energía eléctrica para los municipios de Zipaquirá, Tocancipá, Gachancipá, Cogua y las salinas de Zipaquirá. Posteriormente, se descartó este proyecto y paso a ser el embalse del Neusa una fuente de agua para el consumo humano, abasteciendo los acueductos de Cogua y Zipaquirá. Cumple la función de controlar las inundaciones en la sabana de Bogotá mediante el control de los caudales máximos en la cuenca

del río Neusa y regularlos durante la temporada seca (Figura 4) (Diaz Zerrate & Otlvaro Barco, 2014).



Figura 4. Embalse del Neusa Fuente: (Caicedo,2017)

El *Eremophilus mutisii* subsiste como resultado de siembras de alevinos que se han realizado y buena calidad de agua dentro del embalse. Según información de residentes. El *E. mutisii* es abundante durante los meses de abril, mayo, junio y octubre-noviembre-diciembre cuando las lagunas y embalses están anegadas o inundadas por el invierno, y se lleva a cabo el "rebote" o desove. Adultos en estado avanzado de predesove se observaron en los meses de marzo, abril, agosto y noviembre, en el embalse del Tominé y en el embalse del Neusa, que establecen el ciclo reproductivo anual en tres fases fundamentales: preovulación (noviembre-abril), ovulación (mayo-agosto) y posovulación (agosto-noviembre) de acuerdo a (Flórez & Sarmiento, 1989).

4.1.3 Lago de Tota. En otro escenario, el Lago de Tota (Figura 5) ubicado a 3.015 m.s.n.m en la zona central de la cordillera oriental de los Andes colombianos, tiene carácter de humedal y forma parte de los ecosistemas de páramo; su temperatura oscila entre 8 y 15°C, el área del espejo de agua es de aproximadamente 60 km² y su cuenca tributaria es de aproximadamente 170 km², con una profundidad media de 30 m y máxima de 65.5 m. (Reyes, Vergara, Torres, Díaz, & González , 2016).



Figura 5. Lago de Tota Fuente: (El Sol, 2017)

La comunidad ictica del Lago de Tota esta conformada por una especie endemica y que se presume extinta *Rhizosomichthys totae*, por dos especies endemicas de la region *Eremophilus mutisii*, *Grundulus bogotensis* que fueron transplantadas al lago y por una especie introducida *Oncorhynchus mykiss*, esta es la mas importante economicamente. (Mora, Téllez, Cala, & Guillot, 1992). El Lago de Tota es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano para cerca de 250.000 habitantes. La extracción del agua se ha incrementado en un 33% durante

el periodo 2000-2010 y se estima que la demanda crecerá al 81% en el periodo 2011-2030.

Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES, 2014).

El municipio con mayor área en la cuenca es Aquitania, seguido por Tota y Cuítiva. El municipio de Sogamoso reviste su importancia debido a que se abastece de agua para sus actividades domésticas, productivas e industriales, aunque es el que menor área tiene dentro de la cuenca. Dadas las condiciones actuales de Lago de Tota los diferentes usos que se hacen del recurso hídrico y los vertimientos que conllevan, inciden en la calidad del agua, es adecuada para consumo humano, agricultura, abrevadero y uso industrial, pese a que su pH presenta aumentos y además, no hay claridad sobre las causas que generan esta dinámica. (CONPES, 2014).

Las condiciones naturales de clima, altitud, disponibilidad de agua, suelos planos y fértiles que bordean el lago, favorecieron el monocultivo de la cebolla Junca (*Allium fistulosum* Linnaeus), estimulado además por la ventaja de ofrecer varias cosechas al año. El incremento de áreas cultivadas para cebolla fue bastante notable hasta llegar a cubrir más del 90% del área plana cultivable en menos de dos décadas, en una extensión cercana a 2.500 Ha. (Reyes et al., 2016).

Las prácticas de cultivo utilizan comúnmente abonos orgánicos, agroquímicos y plaguicidas en gran cantidad y se ha determinado que la aplicación de fungicidas, pesticidas y fertilizantes presentan sobredosificación en cantidad y frecuencia de aplicación que incrementa la probabilidad de presencia de metales pesados en suelos agua y alimentos (CONPES, 2014).

Sin embargo, a causa de la intervención en la cuenca, en los análisis hechos a los sedimentos se evidencia que entre la Demanda Biológica de Oxígeno, DBO5 y la Demanda Química de Oxígeno, DQO, no existe una diferencia constante, lo cual puede concernir con la

presencia de materia orgánica, altas concentraciones de nutrientes y microorganismos en el agua que señala la contaminación de la misma. El sector en el que se presenta las concentraciones más altas de DBO5 y DQO es el de San Pedro y las más bajas se encuentran en el Túne. (CONPES, 2014).

El principal problema identificado en el (CONPES, 2014) del Lago de Tota es la gestión impropia del área ambiental y sectorial del territorio de la cuenca del Lago de Tota, lo cual no asevera un manejo sostenible de los recursos naturales. Uno de los aspectos centrales hace referencia al deterioro de los servicios ecosistémicos que presta la cuenca del Lago de Tota, como consecuencia de las intervenciones antrópicas no planeadas o descontroladas y de los problemas socioeconómicos que ello trae consigo. Igualmente, se señala las limitaciones de la información existente sobre los ecosistemas, recursos naturales, servicios suministrados por el sistema del Lago de Tota y su relación con la sociedad y la economía.

Se desconoce la variación de los caudales al Lago de Tota en forma general, lo que conlleva en una nulidad de los valores precisos de la oferta hídrica total y disponible, debido a falta de estaciones hidrometeorológicas. No obstante, se ha identificado reducción de cauces tributarios entre los años de 1978 y 2000 del 59% y que en época de verano se disminuyen los caudales entre el 80 y 95% (Valderrama J. C., 2013).

En cuanto a los elementos químicos que se encuentran dentro del Lago de Tota son plaguicidas tales como: malatión, difenoconazol, tebuconazol y clorotalonilo en aguas superficiales de la cuenca del lago, cuyo origen principalmente proviene del cultivo de cebolla. En las muestras analizadas por (Mojica & Guerrero, 2013) las concentraciones se encontraron por debajo del límite toxicidad. Aunque se reportan bajas concentraciones de los plaguicidas

encontrados en aguas superficiales, el flujo permanente de la corriente hacia el lago puede arrastrar cantidades de plaguicidas que serían considerables en los sedimentos del lago, el transporte de difenoconazol y tebuconazol hacia aguas superficiales lo atribuye (Mojica & Guerrero, 2013) , al arrastre de partículas de suelo y la erosión de los terrenos, ya que estos plaguicidas se retienen en las partículas del suelo debido al alto valor de la constante de adsorción y a su baja solubilidad en agua, la frecuencia de detección de malatión en las muestras puede deberse a las propiedades fisicoquímicas del agua de la corriente las cintas, ya que se encontró un pH entre 6,2 y 6,8, lo cual favorece la estabilidad de este plaguicida, pues se ha reportado que la cinética de hidrólisis de malatión es mayor en medio alcalino, las concentraciones encontradas de malatión por (Mojica & Guerrero, 2013) fueron entre 1,90 mg/Kg y 4,38 mg/Kg.

Con base en los resultados realizados por (Abella & Martínez, 2012) en la quebrada las Cintas que desemboca a su vez en el lago, la tributación de sus aguas representa un potencial riesgo de eutrofización para el lago de Tota, se puede concluir que la actividad agrícola desarrollada en la cuenca del lago de Tota incide en el aporte de nutrientes.

(Abella & Martínez, 2012) identificaron iones de Nitratos, Nitritos y Fosforo, que son los responsables del proceso de eutrofización y que pueden estar presentes en la corriente por influencia de las zonas de cultivo de cebolla larga aledañas. Los nitratos, nitritos junto a las diferentes formas de fósforo, entre las cuales se encuentran fósforo total, fósforo hidrolizable total, fósforo orgánico total y orto fosfato total se encuentran en la zona debido a que se encuentra en la gallinaza que se usa como fertilizante orgánico.

La tendencia encontrada permite establecer que el contenido de nitratos presente en el afluente evaluado se ve influenciado por la actividad agrícola que se realiza en la zona, principalmente por el método de fertilización orgánico aplicado, ya que con el aumento de fincas que cultivan cebolla en las proximidades de la corriente aportan significativamente a la concentración de este ion presente en el cuerpo de agua de la quebrada las Cintas, siendo arrastrado este nutriente hasta el lago. En ninguno de los días y puntos de muestreo se alcanzaron niveles alarmantes de nitratos ya que el valor de referencia establecido por la ley colombiana es de 10 mg/L (Abella & Martínez, 2012).

Las altas cantidades de fósforo hidrolizable encontradas en el muestreo evidencian la presencia de detergentes sintéticos en las muestras de agua colectadas en todos los puntos de muestreo, indicando contaminación no solo por las actividades agrícolas, sino también por vertidos de tipo doméstico (Abella & Martínez, 2012). La detección de los plaguicidas en la musculatura del *E. mutisii* realza su uso como especie bioindicadora, en particular para compuestos de alta residualidad como algunos de los plaguicidas (Rivera Rondón & Prada Pedreros, 2008).

4.1.4 Laguna de Fúquene. Otro importante cuerpo de agua donde encontramos al *Eremophilus mutisii* es la laguna de Fúquene.

Es un cuerpo de agua dulce situado en el municipio de Fúquene, entre los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, a una altitud de 2.540 metros, La laguna de Fúquene, ubicada en los valles de Ubaté y Chiquinquirá, es uno de los ecosistemas acuáticos más importantes del altiplano Cundiboyacense. Desde hace varias décadas, la población circundante a la laguna se ha beneficiado de los servicios que ofrece este ecosistema, tales como la provisión de agua para la agricultura y los acueductos locales, pesca, turismo y transporte. Igualmente, la

laguna alberga ecosistemas estratégicos que son fuentes de recurso de agua para la región y también de peces y junco para la pesca y artesanía. (Castillo & Rodríguez, 2017).

Esta cuenca es importante para la región en la que se encuentra, puesto que de ella dependen 206.544 personas que la utilizan como fuente de agua. Por otra parte, el sistema lacustre presenta dos problemas ambientales: el deterioro ambiental y, la reducción de la superficie y la capacidad de la laguna. Éstos son originados según (Espitia Contreras, 2010) a su vez por dos causas principales que son:

1. La eutrofización por aguas contaminadas. Éstas provienen de los municipios que utilizan las aguas de los ríos Ubaté y Suárez para verter sus residuos y aguas negras. De esta manera, la laguna de Fúquene se convierte en el receptor natural de los contaminantes producidos por dichas actividades antrópicas. Por consiguiente, el estado de eutrofización causa el crecimiento de malezas, como lo son la elodea y el buchón, son cada vez mayores, afectando la vegetación de epilobio, junco, *ludwingia peruviana* y *myriophyllo* principalmente. (Espitia Contreras, 2010)

La proliferación de las plantas acuáticas, favorecen la sedimentación y los procesos de terrización de los sectores más superficiales de la laguna y esto a su vez ha facilitado el avance de la frontera agrícola sobre las tierras ganadas al humedal. Hay evidencias que muestran su retroceso a favor de terrenos privados. (Castillo & Rodríguez, 2017)

2. Se encuentra el descenso del nivel de la laguna. Éste no se debe solamente a la desecación generada por la necesidad de nuevos terrenos, sino, también por el aprovechamiento del recurso hídrico para el abastecimiento del sistema de riego usado

por ganaderos y agricultores que colindan con la laguna. En consecuencia, el bajo nivel de la laguna junto con el aumento de las especies exóticas, pone en riesgo la seguridad de los géneros de juncos que se encuentran, así como a la fauna que depende de esta vegetación para su subsistencia, ya sea para uso como resguardo o como alimento. A su vez, la desecación de la laguna ha traído como consecuencia la invasión de terrenos por fincas dedicadas a la agricultura o la ganadería, cuyos desechos contribuyen al aumento de la contaminación de sus aguas. (Espitia Contreras, 2010).

Se debe destacar que las plantas sumergidas favorecen el desarrollo de extensas láminas de periphyton por tener un área de superficie expuesta mayor. Estas comunidades son más eficientes en la retención de nutrientes y por lo tanto presentan una mayor productividad y favorecen el desarrollo de colector y de forrajeo comunidades de invertebrados. Esto permite que la laguna cuente con una cadena trófica estable, que favorece la alimentación de los peces como lo es el pez Capitán. (Rivera Rondón & Prada Pedreros, 2008).

Por otro lado, la alta producción de materia orgánica por las plantas emergentes como *Schoenoplectus* sp. y plantas como *E. crassipes* flotante, crea condiciones anaeróbicas que benefician la disponibilidad de fósforo y posteriormente, un aumento en la productividad de los ecosistemas, esto ha favorecido el desarrollo de las comunidades densas de colector y macro invertebrados detritívoros con el consiguiente incremento en la disponibilidad de alimentos para *G. bogotensis* y *E. mutisii*. (Figura 6) (Rivera Rondón & Prada Pedreros, 2008).



Figura 6. Laguna de Fúquene Fuente: (Espitia Contreras, 2010)

La extensión inusual de las macrófitas palustres nativas actúan como barrera a la entrada de agua a la laguna. La franja de *Topa angustifolia* (tifa) y *Schoenoplectus californicus* (junco) puede alcanzar hasta 1 km de ancho. Además, el grado de cohesión de esta vegetación, hace que el paso del agua esté restringido y que esta condición se acentúe durante las épocas de sequía. Actualmente hay islas de tifa y junco dentro del espejo de agua, pues allí las macrófitas exóticas invasoras *Eichhornia crassipes* (buchón) y *Egeria densa* (elodea) forman sustratos para las especies palustres. Esta expansión de la franja palustre en el borde, y al interior de la laguna, resulta en menos espacios para el espejo de agua. La disminución del nivel de agua se acentúa también por el aumento de la evapotranspiración, debido a la gran proliferación de biomasa vegetal. *T. angustifolia* y *S. californicus* tienen altas tasas de evapotranspiración y de productividad primaria neta, lo cual señala un gasto hídrico constante, que afecta directamente los cuerpos de agua. (Vidal, Ruiz Agudelo, Delgado, Andrade, & Guzmán, 2015).

4.1.5 Otros cuerpos de agua. En la laguna de la Cocha (Figura 7), donde el *E. mutisii* fue trasplantado, estos eventos también han estado presentes, pero las características limnológicas de estos ecosistemas y por la menor presión y deterioro de sus cuencas de captación, las malezas no han proliferado de la misma manera.



Figura 7. Laguna de la Cocha Fuente: (Experiencia Colombia, 2017)

La actividad carbonera es una gran amenaza, que ha traído como consecuencia erosión de suelos, una mayor escorrentía de las aguas superficiales y pérdida de la biodiversidad.

Adicionalmente, en la zona se realiza la siembra de cultivos de papa, arveja, cebolla y frutas, sin tener en cuenta la capacidad natural del suelo, así que para mantener los cultivos se utilizan fertilizantes que contienen gran cantidad de nutrientes. De esta manera se incrementa la cantidad de nitrógeno total y fósforo total que llegan al espejo de agua, lo que aumenta las

concentraciones de los principales nutrientes responsables de los procesos de eutrofización (López & Mandroñero, 2015).

Caso severo es el embalse del Muña (Figura 8) , en la actualidad no se encuentra la especie de *Eremophilus mutisii*, aunque en otrora, era hábitat del pez Capitán.



Figura 8. Embalse del Muña Fuente: (Blog el Espectador, 2017)

Está ubicado a una altitud de aproximadamente 2.600 metros fue concebido para abastecer una hidroeléctrica cercana al Salto del Tequendama, en la cuenca media del río Bogotá. En 1982 la represa se describía contaminada, la mayor parte de la contaminación por el ingreso de las aguas del río Bogotá que recibía en esos años las aguas servidas de cinco millones de Bogotanos. Además, el embalse estaba contaminado por la presencia de pesticidas usados en la agricultura principalmente hidrocarburos clorinados. La represa recibía directamente los desperdicios de las fabricas establecidas en su margen y también concentraciones altas de

metales pesados como Hg, Cd, Pb y As provenientes de cultivos hortícolas de la sabana de Bogotá, presentes en los suelos y de los cultivos de apio, repollo, lechuga y Brócoli, regados con aguas provenientes del río Bogotá, a través del distrito de riego La Ramada. (Cala, 1986) .

Diferentes sedimentos sin ningún tipo de tratamiento fueron descargados directamente en el lecho de la corriente que dieron origen a deficiencias de oxígeno y crecimiento de fango. En la actualidad se han encontrado en el cuerpo de agua del embalse de Muña que las concentraciones registradas de cadmio y plomo sobrepasan los estándares permisibles. Las concentraciones de cadmio registradas en las pruebas, sobrepasan los valores permisibles estipulados en el acuerdo CAR 042 de 2006 con valores de 0.22 mg/L y 0.13mg/L, los cuales se encuentran ubicados sobre el cauce del río Bogotá. De igual manera, las concentraciones registradas para plomo sobrepasan en todos los puntos monitoreados la norma de referencia de 0.124 mg/L, 0.116 mg/L, 0.127 mg/L y 0.197 mg/L (Reyes et al., 2016).

Según lo reportado por (Reyes et al. , 2016). Existen trazas de concentraciones de contaminantes como cadmio y plomo provenientes de aguas arriba de la subcuenca, como resultados de las actividades económicas tales como, procesamiento y trabajo de metales, fabricación de productos químicos, la extracción de materiales minerales. En el sector agrícola se generan cadmio y plomo como resultado del uso de plaguicidas, insecticidas y herbicidas. Esta característica hace imposible la subsistencia del pez Capitán, y en la actualidad no hay ejemplares de *Eremophilus mutisii* en el embalse reportado por (Cala, 1986) en el año de 1982.

4.1.6 Humedales de Bogotá. Los humedales de la ciudad de Bogotá a lo largo del tiempo, han sido afectados por la intervención antrópica, Esto ha generado en la ciudad grandes cambios en el paisaje afectando considerablemente los ecosistemas, al punto de fragmentarlos y

reducirlos. Con el Acuerdo 19 de 1994 se declararon los humedales del Distrito Capital como reservas ambientales, pero fue hasta el Decreto 619 de 2000 que se empezó a hablar del Plan de Ordenamiento Territorial para la ciudad en el cual se introduce el concepto Estructura Ecológica Principal, permitiendo la conservación e integración del sistema hídrico, los cerros, páramos y humedales del distrito y su articulación mediante elementos ambientales conocido como corredores ecológicos (Ordoñez, González, & Cardona, 2017).

En Colombia, por ejemplo, la extracción de agua de los humedales andinos para satisfacer las demandas de las zonas urbanas y los productores agrícolas y ganaderas se ha relacionado con disminuciones de especies endémicas, como el *Eremophilus mutisii* cerca de Bogotá y en el valle de Ubaté. Un efecto drástico sobre los humedales lo ha causado la introducción de malezas acuáticas como la elodea y el buchón de agua (*Eichornia crassipes*), pero su proliferación se disparó con el proceso de enriquecimiento por nutrientes de las aguas, en donde estas plantas fueron introducidas. (Rodríguez A. I., 2015).

En los 15 humedales de Bogotá Santa María del Lago, Córdoba, Jaboque, Capellanía, Tibanica, La Vaca Sur, Techo, Burro, Juan Amarillo, Meandro del Say, Torca, Guaymaral, La Conejera, el de Salitre Mágico y el del sector de la Isla se puede vislumbrar los problemas existentes para la existencia de *Eremophilus mutisii*. Dificultades como el vertimiento de aguas residuales, conexiones erradas del alcantarillado, basuras y otros problemas que vienen de tiempo atrás, como el dragado, ya han tenido efectos en la fauna y la flora y aún son una amenaza que persiste en estos cuerpos de agua. (Ordoñez et al., 2017).

En los últimos 50 años, Bogotá ha perdido 49.000 hectáreas de humedales a manos de procesos urbanísticos, nuevas vías, basuras, escombros e invasiones, estos ecosistemas han sido

alterados entre urbanizaciones legales e ilegales, el pastoreo, las actividades industriales y la falta de sentido de pertenencia hacia los humedales por parte de las comunidades aledañas. No obstante, es importante reconocer las labores de recuperación por parte del acueducto de Bogotá y la secretaria distrital del medio ambiente por conservar estos lugares. (Rubiano Rojas , 2016). Dentro de los humedales debería existir especie de peces como la Guapucha (*Grundulus bogotensis*), el Capitán Enano (*Pigidium bogotense*) y el Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), que actualmente están completamente extintos. (Ortegon Torres, Ordoñez Osorio, Henao Murillo, Guio Duque, & Pelaez Jaramillo, 2014).

En las aguas de los humedales se pueden encontrar microorganismos como *Frustulia rhomboides*, *Navicula cf arvensis*, *Nitzschia sigmoidea*, *Eunotia tridentula*, *Melosira varians*, *Nitzschia pusilla*, *Pinnularia gibba*, *Encónenla minutum* y *Rhoicosphenia* Sp. Estas especies parecen estar asociadas con cargas elevadas de materia orgánica y nutrientes en agua, razón por la cual son generalmente altamente tolerantes a eutrofización y condiciones extremadamente saprófitas, esta condición imposibilita la proliferación de peces.

El aislamiento de los humedales de sus fuentes originales de agua, principalmente de su conexión con sus afluentes genera la pérdida de los corredores Biológicos. El humedal santa María del lago el más protegido del distrito, perdió su conexión con el río Juan Amarillo ahora restringe sus conexiones a drenajes subterráneos. (Lozano & Rivera, 2015).

Se evidenció por (Lozano & Rivera, 2015) que no se tiene un análisis de la Política Distrital de Humedales e igualmente no existe una evaluación a percepción del estado de los humedales. Existen falencias de ordenamiento territorial en los humedales, puesto que este es un ecosistema estratégico para la sociedad, es un bien común y un servicio ambiental importante

para la regulación hídrica ya que se cumplen parcialmente con todas las estrategias expuestas en la Política Pública Distrital de Humedales, siendo este verificado por las entidades gubernamentales. El cumplimiento de las estrategias, objetivos y metas son insuficientes, no se evidencia claramente los resultados del cumplimiento de los planes de manejo y las estrategias para el cuidado, preservación y conservación de los humedales. En el humedal Santa María del lago (Figura 9), la presencia de vida subacuática nativa está representada en dos especies de peces, la Guapucha (*Grundulus bogotensis*) y el Capitán (*Eremophilus mutisii*). (Díaz Lozano & Pinilla Rivera, 2013) (Ladino Vigoya, Marín Abadía, & Vargas, 2016). No obstante, no existen reportes oficiales, ni avistamientos de estos peces en los últimos dos años, todos son presunciones.



Figura 9. Humedal Santa María del Lago Fuente:(Caicedo,2017)

4.2 Contaminación por Metales Pesados

En diferentes tramos de la cuenca del río Bogotá es afectado por la actividad antrópica, lo que a su vez repercute en la supervivencia del *E. mutisii*. Se han desarrollado algunos estudios

pertinentes a las condiciones del agua donde habita el *Eremophilus mutisii* de diferentes tramos del río Bogotá especialmente entre Suesca, Chocontá, Villapinzón y afluentes circunvecinos.

En el estudio realizado por (Salcedo Monsalve, Diaz Criollo, Rodríguez Forero, González Mantilla, & Varona Uribe, 2012), en la zona cercana al municipio de Suesca y que cuenta con 3 embalses que regulan el flujo del río y que comprende los municipios de Villapinzón, Chocontá y Suesca, se ve afectado por los vertimientos de curtiembres, mataderos, industrias, cultivos, aguas negras y cabeceras municipales. En este estudio se concluyó que 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).

No es de extrañarse ya que las curtiembres, al igual que otras actividades industriales, producen un alto impacto ambiental como consecuencia de la cantidad de agua que debe ser empleada en el proceso, considerando los residuos sólidos y líquidos provenientes de las pieles de animales tales como sangre, pelos y residuos de carne, sin mencionar los reactivos empleados. Sin embargo, esta actividad no ha contado con controles ambientales desde sus inicios, por lo que poco a poco debido al creciente interés y conciencia de la protección del medio ambiente han surgido normas que reglamentan este proceso productivo alertando a las empresas productoras del sector. Por esto, Villapinzón y Chocontá han sido un foco de atención al representar un mercado mayoritario del cuero, y por tanto un foco generador de alta contaminación. (Moreno Silva , 2014).

En tramos del río Bogotá entre los municipios de Chocontá y Suesca que fueron examinados por (Rodríguez Forero, González, & Suárez, 2007) Se evidenció plomo (Pb), cromo

(Cr) y cadmio (Cd) en el músculo del pez Capitán en ejemplares capturados en la zona. Se procesaron muestras de agua para su análisis fisicoquímico y de acumulación de metales, donde se hallaron altos niveles de Pb 3,4 a 3,1 ppm, de Cr 1,8 a 2,1 ppm, y Cd 0,35 a 0,48 ppm niveles de metales en las aguas (ppm) indican que el promedio de Pb (0,028 Chocontá; 0,029 Suesca), Fe (0,462 Chocontá, 1,1 Suesca) y Cr (0,113 Chocontá) estaban por encima de los niveles máximos (MCL de la EPA) permitidos en aguas potables. Este estudio demostró la importancia de las especies bentónicas y no migratorias para evaluar los efectos de la contaminación por metales pesados. (Ver Tabla 2)

Tabla 2 Concentraciones comparativas de Metales pesados Chocontá Suesca

METAL	CONCNETRACION EN CHOCONTÁ ppm	CONCENTRACION EN SUESCA ppm
Cadmio	0,04	
Cobre	0,04	
Zinc	0,009	0,017
Cromo	0,213	0,08
Manganeso	0,087	0,014
Plomo	0,17	0,09
Magnesio	0,29	0,18
Hierro	0,79	0,93

(Rodríguez Forero et al., 2007)

Los análisis del agua de (Rodríguez Forero et al., 2007) mostraron que varios metales estaban presentes en la columna de agua: Cd, Pb, Fe, Zn, Mg, Mn y Cr. Las concentraciones encontradas para Pb y Fe estaban por encima de los valores permitidos por (US EPA) potable, mientras que en Chocontá, Cr fue mayor (0.113 ppm).

De 47 animales examinados por (Rodríguez Forero et al., 2007) ,41 mostraron algún valor de contaminación por metales pesados. Los metales que se consideraron de presencia anormal en la musculatura del *E. mutisii* 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. Los bajos niveles de oxígeno disuelto en aguas del río Bogotá se deben a la contaminación de materia orgánica y otros contaminantes. Los niveles de oxígeno junto con el pH pueden determinar los diferentes compuestos químicos que se forman de algunos metales como Fe.

En cuanto a los niveles encontrados de DBO5 y DQO y su relación, se puede deducir que la contaminación del río Bogotá a esta altura de la cuenca proviene en gran medida de los vertimientos de origen industrial. Los vertimientos en el agua presentan una relación DQO/ DBO5, indican una degradabilidad aceptable, pero para los puntos de muestreo, la relación indica una baja capacidad de asimilación y por ende un mayor consumo de oxígeno para lograr la mineralización de la materia orgánica, situación que afecta directamente a la concentración del oxígeno disuelto en el río. La concentración de sulfatos presenta un incremento gradual en diferentes tramos del río, debido a que los vertimientos de las curtiembres presentan altas concentraciones de sulfatos a causa del ácido sulfúrico empleado como parte del proceso de descarnado de los cueros. (Vidal et al., 2015).

(González et al., 2009) 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). Los análisis de factores abióticos muestran, en principio, que la calidad del agua del área de la cuenca es adecuada para el desarrollo y reproducción de *Eremophilus mutisii*.

El nitrito en las muestras de agua examinadas por (González et al., 2009) nunca llegó a concentraciones perjudiciales para los peces; únicos valores sin mayor relevancia fueron (0.008-0.26 N-NO₂) en algunas muestras. El Fe fue elevado y constante en el presente estudio, han determinado que la concentración umbral de Fe para los peces es de 0,2 ppm en el agua. En 11 de las 12 muestras analizadas en los 2 lugares, la concentración de Fe estaba por encima del umbral reportado por estos autores. Los capitanes de la sabana concluyo están contaminados con plomo, cromo y cadmio, lo cual se refleja en las concentraciones encontradas en el músculo y con la morfología interna de las branquias.

Reportan (Salcedo Monsalve et al., 2012) la existencia de plaguicidas (organofosforados, carbamatos, ditiocarbamatos y organoclorados) en las aguas de la cuenca alta del río Bogotá. Los resultados del estudio confirman la presencia de plaguicidas en el río Bogotá, en los peces que se desarrollan en él y en las personas que habitan en su ribera, demostrando que los esfuerzos para la protección del medio ambiente y la salud de las comunidades no han sido suficientes, pues se siguen contaminando los ríos.

Respecto a los niveles de órgano clorados encontrados en la musculatura del pez Capitán y en el agua, para los estudios de (Salcedo Monsalve et al.,2012) y (González et al.,2009) resaltan que el endosulfan es el plaguicida que presentó mayores niveles. Este órgano clorado fue prohibido en Colombia, pero su comercialización clandestina desde otros países se presume, ya que se ha identificado en intoxicaciones en humanos luego de su prohibición.

El carácter no migratorio de los peces Capitán capturados en la cuenca alta del río Bogotá por (Salcedo Monsalve et al, 2012), permite ser usado como bioindicador apropiado para la zona muestreada y adicionalmente, permite mostrarla como una especie que por su hábito de permanencia en el fondo de las aguas podría estar en contacto y exposición permanente con los sedimentos, en donde se acumulan muchos de estos plaguicidas de alta resiliencia.

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 como lo 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*). El (*Eremophilus mutisii*) representativo de la ictiofauna del altiplano Cundiboyacense el Capitán de la Sabana tampoco se localiza después de la cuenca alta. (González et al., 2009).

En otro subsector en la cuenca alta del río Suárez, municipio de Caldas, departamento de Boyacá, Los embalses exhibieron alta mineralización, Los niveles de amoníaco y nitrato fueron relativamente altos (0,32 a 1,52 mg / l y 0,2 a 2,0 mg / l, respectivamente). los niveles de orto fosfato oscilaron entre 0,009 y 2,063 mg / l y el fósforo total (como P) osciló entre 0.024 y 0.178 mg / L. La presencia de ganado puede contribuir, a través de los excrementos, al enriquecimiento del agua. La DBO fluctuó entre 16.50 y 73.20 mg / LO₂. (Pinilla et al., 2006). En esta zona también es posible encontrar presencia de *Eremophilus mutisii*.

4.2.1 Consecuencias de los metales pesados en el *Eremophilus mutisii*. Los metales pesados agrupan sustancias como cadmio y mercurio, como principales contaminantes. Además

de, cromo, cobalto, cobre, molibdeno, níquel, plomo, estaño, titanio, vanadio, zinc o plata. Éstos constituyen un riesgo serio para el medio ambiente, ya que son sustancias con una gran estabilidad química ante los procesos de biodegradación, por lo que los seres vivos son incapaces de metabolizarlos, generándose una contaminación por bioacumulación y un efecto multiplicador en la concentración del contaminante en la cadena trófica. Alcanzan niveles altos de toxicidad y se absorben muy eficientemente a través de las membranas biológicas por su elevada afinidad química por el grupo sulfhídrico de las proteínas. (Molina Villalba, 2015).

Aunque la calidad del agua en su nacimiento es buena, la degradación del río Bogotá se observa desde la cuenca alta deterioro en la calidad del agua, debido a los vertimientos de curtiembres, con alto contenido de grasas, aceites y metales pesados, que contribuyen a la contaminación orgánica y bacteriológica del río en su trayecto, aumentada por otros aportes industriales y de aguas residuales. En varios sectores las actividades agropecuarias han cambiado a parcelaciones rurales para la recreación y urbanización galopante, sobre todo en la periferia de Bogotá, generando residuos sólidos con impactos negativos en el río y otros cuerpos de agua. (Talero Martín & López Peralta, 2015).

Los estudios realizados en la cuenca alta del río Bogotá por (Rodríguez et al., 2006) concluyeron que los tejidos musculares y branquiales de 47 peces estudiados de Capitán de la Sabana, presentaron concentraciones de cadmio, plomo y cobre por encima de los valores permisibles. En particular, las branquias presentaron alteraciones microscópicas como hiperplasia endotelial, telangectasias y petequias. No obstante, estos investigadores no observaron alteraciones morfológicas externas o afectaciones del hígado o gónadas de los ejemplares capturados, lo que supone que esta especie pueda tener una mayor capacidad para

regular y reducir la cantidad de metales en su hígado, con relación a otros peces y que haya adquirido alguna resistencia a estos contaminantes. La biocumulación por metales pesados como cromo y plomo se acumulan en los músculos del pez (Bastidas & Lemus, 2014).

Entre Villapinzón y Suesca se evaluó el efecto tóxico de los metales pesados como cadmio, plomo, cobre, hierro, zinc, magnesio, manganeso y cromo, en el agua y en la musculatura de *E. mutisii*; en muestras provenientes de un tramo del río Bogotá, con registros de concentraciones por encima de los límites permitidos por la (EPA) y que podrían estar generando problemáticas ambientales de bioacumulación en un primer estudio efectuado por (Rodríguez et al., 2006).

Se presume que los metales pesados en el río Bogotá no se diluyen en el agua, sino que se depositan en los sedimentos y provocan una alta toxicidad en el ambiente, que posteriormente genera procesos de bioacumulación en las especies acuáticas que los habitan. Para el caso del *E. mutisii*, este proceso de bioacumulación de metales pesados, puede ocasionar daños inducidos en el músculo y las branquias de algunos los animales (Rodríguez et al., 2006) (Rosado et al., 2007).

4.2.2 El plomo. El plomo es un metal pesado de color gris azulado que se puede encontrar en la corteza terrestre, y es usado principalmente en pinturas, esmaltes cerámicos, baterías, municiones, combustibles fósiles, láminas de protección para radiación, rellenos sanitarios. (Osorio García et al., 2014).

Se evaluaron ejemplares adultos de las especies Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), bagre rayado (*Pseudoplatystoma orinocoense* y *P. metaense*) y capaz (*Pimelodus grosskopfii*), provenientes del río Bogotá (Cundinamarca), Puerto López (Meta) y represa de

Betania (Huila, Colombia), respectivamente. Se investigó la presencia de plomo en sangre, actividad colinesterasa plasmática y micronúcleos eritrocitos en el estudio hecho por (González et al., 2014).

Los hallazgos más significativos de los análisis hechos en los peces de esta investigación fueron la presencia de plomo en sangre y la diferencia en la actividad colinesterasa entre las especies bagre y capaz. Con respecto al pez Capitán de la Sabana, la presencia en sangre ocurrió en todas las especies, con porcentajes altos (49%) del total de individuos muestreados. De las especies estudiadas, el pez Capitán fue el que presentó el mayor número de peces afectados (93 %), seguido del bagre rayado (44 %) y el capaz (28 %). Concretamente esta investigación reportó en la musculatura de los peces niveles de metilbromofos (39,5 – 44,6 ppb, en 5 de 26 ejemplares), etilbromofos (33,8 – 8709 ppb en 18 de 26 ejemplares) y metilazinfos (23,9 – 55,6 ppb en 8 de 26 ejemplares) (González et al., 2014).

Estos compuestos hacen parte del grupo de insecticidas organofosforados, los cuales son los de mayor venta y uso en el país. La inhibición de la actividad colinesterasa en pez Capitán, encontrada, podría deberse a la exposición y acumulación de estos insecticidas en tejidos. La otra fuente de inhibición de la actividad colinesterasa podría ser el plomo que se encontró simultáneamente en este estudio, especialmente en el pez Capitán que fue la especie con el mayor número de ejemplares con este hallazgo (Gonzalez et al, 2014).

La actividad colinesterasa es un biomarcador muy utilizado en toxicología. Esta enzima indica la capacidad de los terminales nerviosos para hidrolizar la neurotransmisora acetilcolina (ACh), evitando así la transmisión continua del impulso nervioso. Cuando la colinesterasa (ChE), ya sea de tipo acetil (AChE) o butiril (BChE), hidroliza a la (ACh), genera como productos el

ácido acético y la colina. Esto permite la repolarización de la membrana nerviosa llevándola nuevamente a un estado de reposo, el cual favorece la respuesta a un nuevo estímulo. Varios tipos de contaminantes pueden alterar la actividad ChE generando un cuadro tóxico en el sistema nervioso de los ejemplares expuestos a estos compuestos. Dentro de los contaminantes identificados como inhibidores de actividad ChE, están los insecticidas tipo organofosforado y carbamato, además de metales como el plomo, el cual también ha sido asociado con efectos en la actividad de esta enzima (González et al., 2014).

Los valores disminuidos de actividad colinesterasa en el pez Capitán de la Sabana, con respecto al bagre rayado y al capaz, sugieren una exposición a inhibidores de la enzima como es el caso de los insecticidas organofosforados, los cuales han sido detectados en estudios previos. (Gonzalez et al., 2014).

El plomo (Pb) es un metal pesado cuya dispersión ambiental se ha incrementado como consecuencia de las actividades industriales del ser humano, incluyendo su uso prohibido en combustibles. Puesto que no cumple necesidad biológica alguna en el organismo, no existiría un valor normal de Pb en sangre. Es considerado un neurotóxico del desarrollo: evidencias clínicas y en animales de laboratorio indican que la exposición a niveles ambientalmente relevantes de Pb induce trastornos neuroconductuales en organismos en estado de formación. (Mattalloni, De Giovanni, & Virgolini, 2014).

Este metal presenta los mayores casos de intoxicación en varias especies animales, afecta la síntesis de la fracción heme de la sangre. Además, el Pb es un agente neurotóxico que altera estructuras del sistema nervioso central por su capacidad para atravesar la barrera hematoencefálica e interferir con la acción reguladora del calcio en la célula, en particular con la acción

de neurotransmisores como dopamina, acetilcolina y ácido gamma aminobutírico. (Ortegon Torres et al., 2014).

Los niveles de plomo sanguíneo que pueden alterar la síntesis de fracción heme y consecuentemente provocar anemia en los peces, varían según la especie. Se ha reportado que para la mayoría de especies ícticas, el valor de Pb sanguíneo que podría causar este efecto está por encima de 50 $\mu\text{g/dL}$, la presencia de plomo se da generalmente en los tejidos hepático y sanguíneo de los organismos. (Ortegon Torres et al., 2014)

4.2.3 El mercurio. El Mercurio (Hg) es considerado como uno de los contaminantes ambientales con mayor impacto sobre la biosfera. Este metal ha sido manejado por los seres humanos desde las operaciones mineras romanas hace 3500 años.

Durante la extracción de oro, el Hg se emplea en su forma elemental para formar amalgamas oro-Hg. Una vez entra el mercurio a los ecosistemas, el Hg se esparce en el aire, suelo, agua y sedimentos. Las personas que viven en las proximidades de las zonas mineras artesanales son vulnerables a la exposición a este metal. Uno de los trascendentales problemas es su capacidad para causar neurotoxicidad y teratogénesis, así como lesiones en órganos tales como el hígado y los riñones. Por lo tanto, estos efectos hacen la vida prenatal más susceptible al daño cerebral que en los adultos (Molina Villalba, 2015).

En América Latina, la minería artesanal a pequeña escala es una de las principales causas de liberación de Hg a los ecosistemas acuáticos. Aunque esta actividad favorece de manera significativa al empleo rural en Colombia, la riqueza aparente resultante de la extracción de oro contrasta con la pérdida de los ecosistemas, así como la salud y el deterioro social en las comunidades. A pesar de las disyuntivas existentes para evitar su uso en la minería, la

contaminación de Hg en las zonas mineras ha sido asociada casi exclusivamente con estas actividades. (Turizo Tapia, Caballero Gallardo, & Olivero Verbel, 2014).

El mercurio puede hallarse también en algunos peces contaminando y a los que consumen su carne como fuente de alimento. Se puede acumular en los sedimentos en la base de los cuerpos de agua, allí los microorganismos como bacterias, pueden convertirlo a la forma orgánica; conocida como metilmercurio para posteriormente ser acumulado por los peces cuando estos se alimentan de ellos como es el caso del *Eremophilus mutisii* y así llegar al hombre. Si bien las diferentes formas del mercurio, pueden afectar a las personas en diversas circunstancias; es el consumo de pescado contaminado con metilmercurio una de las principales vías de exposición. (Osorio García et al., 2014).

De esta manera, el metilmercurio que es mucho más tóxico que otras formas de mercurio y que por su alta solubilidad en lípidos y su facilidad para atravesar membranas se distribuye a través de todo el organismo, finalmente, se acumula en los peces a concentraciones mucho más elevadas que las presentes en el agua. Este fenómeno recibe el nombre de bioamplificación o biomagnificación de Mercurio total (Hg) que es una de las seis sustancias químicas más peligrosas en el mundo natural, Estos resultados permiten inferir preliminarmente la ocurrencia de procesos de biomagnificación de Mercurio total. (Mosquera Guerra, Trujillo, Caicedo Herrera, & Martínez Callejas, 2015).

La presencia de este elemento se ha convertido en una de las principales amenazas para la conservación de la biota acuática evidenciando fuertes procesos de contaminación ambiental ocasionados por vertimientos de este metal en diferentes estados (inorgánico y en aerosol) o

metilmercurio (MeHg), producto en un 63% de actividades relacionadas con la explotación minera. (Mosquera Guerra et al., 2015).

Los metales pesados tienen una densidad y una toxicidad alta, aun a concentraciones bajas. No son degradables, por lo tanto, no pueden ser destruidos. Se incorporan a los organismos vivos a través del aire, del agua y del suelo pasando a la cadena alimentaria o trófica. En términos generales ellos llegan a los ecosistemas donde habita el Capitán de la Sabana por actividad agrícola (abonos, fertilizantes, plaguicidas), actividades industriales de diferentes categorías que hay en la cuenca alta y por agua residuales domésticas (González, Rodríguez, & Suarez, 2009).

Hemos visto hasta aquí como la contaminación de las aguas, y el cambio del ecosistema ha afectado a la población de capitanes, el desarrollo agrícola y urbano, y la infraestructura hidráulica, lo han llevado a su merma poblacional. Los metales pesados afectan la calidad de su hábitat, altera su producción y fertilidad, y diferentes daños celulares por la formación de especies reactivas al oxígeno inhibiendo los procesos antioxidantes.

4.3 Introducción de Especies Competencia por Hábitat y Alimento

La introducción de especies de peces ha sido considerada como uno de los problemas más difíciles de conservación de la biodiversidad, ya que la degradación de los ecosistemas naturales que ha venido ocurriendo en todo el mundo ha provocado que las especies no nativas se establezcan y se conviertan en invasoras con mayor facilidad.

La cuantificación de especies introducidas y trasplantadas en aguas continentales de Colombia presentó su primer reporte en la década de los años 80, consignando a su vez medidas

de prevención sobre su uso. (Rodríguez H. , 1984) reportó la introducción de 35 especies de peces 29 ornamentales y 6 de consumo. De las cuales 11 estaban en cuerpos de aguas naturales. Entre 1997 y 2002 se registraron 162 tipos diferentes de organismos incluyendo especies, subespecies, variedades, híbridos y formas de cultivo. Los peces fueron 154; de estos, 97 eran introducidos, es decir, es una especie no nativa del lugar o del área, 57 trasplantados, que corresponden a especies nativas del área, distribuidos en 31 familias de peces y cinco de crustáceos. Las familias con mayor número de especies fueron Cyprinidae con 37, Cichlidae con 35, Belontiidae con 12, Pimelodidae con 11 y Characidae con 10, Salmonidae con 8, con 7 Poeciliidae y Serrasalminidae. Respecto a los peces introducidos por parte de (Baptiste et al., 2010), 93 se registraron en aguas artificiales y en aguas naturales, de los trasplantados, 53 estaban en aguas artificiales y 17 en aguas naturales. Trasplantar especies es un punto a considerar ya que el trasplante es el movimiento de especies de una región a otra dentro del mismo país, y conlleva el riesgo de que se vuelvan invasoras.

Las cuencas hidrográficas con mayor número de especies ícticas introducidas y trasplantadas fueron la cuenca media del Cauca con 90, la cuenca alta del Cauca con 89 y el Magdalena medio con 80. La vertiente con menor cantidad de especies introducidas fue la del Caribe, con 8 especies. En aguas naturales, y respecto a especies introducidas, el Magdalena medio posee 15, el Alto Cauca 14 y el Alto Magdalena 13. Por departamentos y considerando especies introducidas y trasplantadas, el Valle del Cauca poseía 91 de 27 familias, Caldas 76 de 10 familias y Antioquia 72 especies de 12 familias (Gutiérrez, 2005).

La situación actual en nuestro país acrecienta el interés por el estudio de diferentes aspectos ecológicos de las especies no nativas fuera de su área de origen, ya que estas especies

varían a diferentes escalas espaciales y temporales en sus procesos biológicos, lo que puede causar diversos impactos sobre el medio ambiente, sobre la economía regional e incluso sobre la sociedad (Gutiérrez, 2005).

Hasta la fecha se tiene conocimiento de que los peces dulceacuícolas introducidos en Colombia ascienden a 81, provenientes de un amplio rango de distribución mundial y destinados principalmente a la acuicultura y a la ornamentación (Restrepo Santamaria & Alvarez Leon, 2013). De igual manera, existen registros de híbridos con introgresiones genéticas (movimiento de genes de una especie a otra a consecuencia de un proceso de hibridación interespecífica), de los cuales no se tiene certeza que hayan sido introducidos en el medio natural. En 2005, el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, con base en la consulta a expertos (Bonilla, 2006), seleccionó un grupo de especies invasoras en Colombia. Casos para asumir de manera inmediata en Colombia han sido reconocidos por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 2008, que declaró oficialmente como especies invasoras a las especies: *Oncorhynchus mykiss*, *Oreochromis niloticus*, *O. mossambicus*, *Cyprinus carpio*, *Micropterus salmoides* y *Trichogaster pectoralis*. (Restrepo Santamaria & Alvarez Leon, 2013). Estos llegaron a los cuerpos de agua para ser parte de la pesca deportiva y también en la actividad piscícola.

El tema de las introducciones no sólo incluye el ingreso de especies provenientes de otros países. Ciertamente, los trasplantes ofrecen los mismos problemas e impactos que la introducción, por tanto, son elementos casuales que eventualmente pueden ser exitosos, convirtiéndose en factores hostiles de difícil mitigación o erradicación.

Mientras este hecho tiene notable trascendencia a escala global, en Colombia se ha hecho frecuente efectuar repoblaciones, reintroducciones, bien sea con especies trasplantadas, exóticas o con híbridos, sin mediar para ello ninguna previsión biológica o fundamento científico. De esta situación existen múltiples ejemplos, como el caso de la mojarra amarilla (*Caquetaia kraussii*). La Mojarra amarilla es un pez de la familia *Cichlidae* endémico de Colombia y Venezuela, que habita en aguas tranquilas. Es una de las especies de peces de importancia comercial en la ciénaga Grande de Loricá, sistema río Sinú y en la Ciénaga de Ayapel, sistema río San Jorge. Contribuye a la dieta de los pescadores y sus familias y a su seguridad alimentaria. (Olaya Nieto, Ubarnes Coronado, & Ensuncho Morales, 2014).

Los salmónidos conocidos como truchas introducidos hacen más de 30 años, diezmaron las poblaciones nativas andinas del continente suramericano y continúan haciéndolo con las pocas que quedan, pues sus hábitos alimenticios lo obligan a ello. Luego de un siglo de introducciones, siembras, truchas y salmones son las especies más frecuentes en ríos y lagos de los Andes. En la Patagonia, la diversidad de peces nativos de agua dulce es baja, con una distribución restringida y menor abundancia en comparación con especies introducidas. Estas especies tienen ventajas competitivas por alimento y territorio sobre las especies nativas (Habit, González, Ortiz Sandoval, Elgueta, & Sobenes, 2015). En el lago Titicaca la trucha *Odontheistes bonariensis*, una especie de América del Sur de climas templadas introducidas accidentalmente en la década de 1960, han tenido un efecto directo e irreversible en los peces nativos especie de América del Sur (Monroy López, 2014).

A través de la competencia y la depredación, las especies no autóctonas han contribuido a la extinción de la *Orestias cuvieri*, y la disminución en la abundancia de muchos otros como las

especie *Oligosarcus schindleri*; por tilapias africanas (*Oreochromis* y *Tilapia* spp). Estas especies introducidas también están presentes en las corrientes de los Andes tropicales, principalmente por debajo de 1.500 m. (Ortega, Guerra, & Ramírez, 2007). En los sistemas hídricos de Latinoamérica se ha venido observando con preocupación la introducción de la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*).

La introducción de especies exóticas a los cuerpos de agua, produce un impacto nocivo a los ecosistemas naturales, las especies foráneas que se han introducido en las lagunas donde el *Eremophilus mutisii* habita, por algunos autores se han catalogado como causales de la disminución del pez Capitán (Tovar , Contreras, Caldas, Rodríguez , & Hurtado, 2008) (Habit, et al., 2015).

Se considera que el depredador principal del Capitán de la Sabana es el hombre, puesto que históricamente lo ha hecho parte de su dieta alimenticia. Las especies introducidas compiten principalmente por territorio y alimento. Entre los biólogos existe una amplia discusión frente a si especies no nativas como la trucha o la carpa, altamente exitosas en su adaptación, han sido responsables de la disminución de las poblaciones de Pez Capitán. (Bastidas & Lemus, 2014).

Las especies más comunes que se encuentran en los lagos donde habita el *Eremophilus mutisii* son la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) y la carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*). La dieta herbívora de la carpa hace que no compita por alimento con las especies nativa, no obstante, a la trucha arcoíris se le atribuye la desaparición de especies nativas de peces y disminución de la biodiversidad, el pez Capitán convive en los mismos ambientes con la trucha, en donde las condiciones de calidad del hábitat les permite su desarrollo (Piedrahita & Ruiz, 1994).

Se considera también por investigadores como (González Acosta J., 2014) (Mora et al.,1992), que la trucha arcoíris es causante de la desaparición del pez graso endémico del lago de Tota, pero no se han arrojado resultados que puedan demostrarlo claramente (Figura 10).



Figura 10. Trucha Arcoíris Fuente: (Salmonexpert, 2017)

La Trucha Arcoíris, (*Oncorhynchus mykiss*), es un pez que pertenece al grupo de los salmónidos originarios de América del Norte. Estas especies son valoradas por los efectos socioeconómicos positivos que generan y esto determina que no se realice un adecuado manejo ambiental de la especie, para que se limite su proliferación. Los salmónidos o los animales de caza son percibidos como importantes generadores de recursos económicos para la población local desestimándose sus efectos ambientales. (Sanguinetti et al., 2014).

La trucha en los embalses ofrece un importante recurso regional para la pesca deportiva y la alimentación local. La introducción de especies, pueden afectar el funcionamiento de los sistemas acuáticos a través de las interacciones de la cadena alimentaria, alteraciones funcionales

de las especies, la riqueza y la composición de agrupaciones de los niveles tróficos inferiores. En general, el efecto de las especies invasoras sobre la diversidad biológica en ecosistemas acuáticos depende del tipo de las interacciones de las comunidades nativas que son complejas y poco estudiadas (Crespo , 2014).

La Trucha Arcoíris fue introducida en Colombia sobre 1930, se adaptó muy bien a ecosistemas de subparamo y regiones de clima frío en Colombia. La exitosa adaptación de la Trucha Arcoíris a los ecosistemas acuáticos de Colombia, ha presumido que se constituye en una fuerte competencia del pez Capitán, que podría estar afectando el aumento de sus poblaciones. El *Eremophilus mutisii* es la especie más afectada por las especies. introducidas, debido a su estrecho espectro alimenticio (Bastidas & Lemus, 2014). En 1930 el término “estudio de impacto ambiental” era desconocido para las autoridades agropecuarias y fue así como entró al país la carpa asiática y la Trucha Arcoíris en los años cuarenta. Transcurrieron cerca de sesenta años para que los ambientalistas pusieran en discusión a especies como la Trucha Arcoíris, predatora por naturaleza, y el mayor factor de desaparición de especies nativas como el pez graso de Tota y el pato de Tota. (González Acosta J., 2014).

La disminución o reducción de las poblaciones del Capitán de la Sabana en los cuerpos de agua se ha atribuido principalmente a acciones de depredación por parte de la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mikiss*). Esta afirmación aún sigue en discusión, ya que la trucha y el Capitán, a pesar de encontrarse en los mismos ecosistemas, ocupan nichos ecológicos diferentes, la especie *Oncorhynchus mikiss* es pelágico, nectónico, diurno, reófilo y de exigente calidad de aguas; y el *Eremophilus mutisii* es bentónico nocturno, de aguas lenticas poco oxigenadas. (Bastidas &

Lemus, 2014) así que este es un tema de amplia discusión y discrepancia y no hay estudios contundentes al respecto.

La dependencia directa o indirecta de animales y plantas dentro de la cadena trófica es otro factor que afecta la composición de las comunidades ecológicas, ambos influyen en los organismos pequeños debido a la materia orgánica que ellos dispersan, imponiendo organización en otros niveles del sistema. Los cambios dentro de una comunidad se expanden a lo largo de la cadena trófica, la introducción de una especie genera cambios dentro de la cadena alimenticia debido a las nuevas interacciones que se van originar y la nueva organización que crean a futuro.

En Colombia en los altiplanos de Cundinamarca y Boyacá, se ha presentado desplazamiento del hábitat de especies nativas como *Pygidium bojotease* (Capitán Enano), *Eremophilus mutisii* (Capitán de la Sabana) y *Grundulus* sp. (Guapucha), cuyas poblaciones han ido en constante disminución debido a múltiples factores, entre ellos la introducción de esta especie no nativa la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*). que es muy agresiva ocasionando competencia de nicho. El desplazamiento de las especies ícticas autóctonas por la tilapia y la trucha han modificado todo un complejo sistema de interacciones en los cuerpos de agua lóticos y lénticos (Junca Rodríguez, 2008).

Este fenómeno se ha podido evidenciar en la laguna de Fúquene, donde la introducción de especies no nativas, genera competencia por el alimento y el territorio. Se ha reportado que las especies no nativas tienen afectado los sistemas acuáticos tropicales en los Andes de manera similar en la laguna de Fúquene, las especies endémicas (*Eremophilus mutisii*, *Grundulus bogotensis*) compiten por alimento y espacio con especies no autóctonas (*Cyprinus carpio*, *Carassius auratus*), que ahora representan la mayor parte de la biomasa de peces en la laguna de

Fúquene (Valderrama, Garzón, & Hernández, 2007), lo cual puede ser ocasionado por la sobrepesca o por limitaciones en la oferta alimenticia; sin embargo, las tallas menores de este pez demuestran un desarrollo gonadal completo. La biomasa del Capitán que era la más cuantiosa anterior a la introducción de las especies exóticas, se ubica actualmente en un nivel secundario en la laguna de Fúquene.

Los autores (Piedrahita & Ruiz, 1994) determinaron que el Capitán de la Sabana comparte hábitos alimenticios con especies asociadas como la Guapucha (*Grundulus bogotensis*), la Carpa (*Cyprinus carpio*) y el pez Dorado (*Carassius auratus*); se alimentan en sus primeros estadios de vida de fitoplancton y zooplancton, pero en sus estadios superiores sus requerimientos nutricionales aumentan a anélidos y moluscos. Estos investigadores concluyen que el Capitán es una de las especies que más compite por alimento con la fauna asociada o introducida.

Dentro de la laguna de Tota sus especies de ictiofauna nativas han sido remplazadas por un grupo de seis especies foráneas de las siete reportadas. Entre las especies foráneas se encuentra la Trucha (*Oncorhynchus mykiss*), la cual fue introducida en la década de los 40's, siendo actualmente la única especie que se aprovecha de manera comercial en la zona; el Capitán (*Eremophilus mutisii*) y la Guapucha (*Grundulus bogotensis*), especies endémicas para la Sabana de Bogotá, que fueron introducidas al lago como alimento para la Trucha en la década de los 50's, estableciéndose de manera satisfactoria, siendo consumidas esporádicamente por la comunidad; la Carpa (*Cyprinus carpio*), el (*Carassius auratus*) el pez Goldfish y el (*Pigydium bogotensis*) conocido como Capitanejo. (Moncaleano Niño & Calvachi Zambrano, 2009).

El pez graso de Tota (*Rhizozomichthys totae*), es el único pez propio del lago y a su vez una especie endémica de distribución limitada a este cuerpo de agua, la cual actualmente se considera extinta, y que según la literatura especializada vivía en las profundidades del lago (Alvarez et al., 2002).

La competencia por alimento dentro de un cuerpo léntico, donde puede escasear el alimento que el *Eremophilus mutisii* necesita, hace que la especie requiera mejor visión que su competidora. Es así como (Tovar et al., 2008) indica que la visión es de importancia variable dependiendo de la relación de los peces con su hábitat, siendo clave en algunas especies y secundaria en otras. Los resultados obtenidos en este estudio muestran diferencias en el espesor de la retina, cornea, esclerótica, tamaño relativo del ojo y diámetro horizontal del cristalino; para los cuales Trucha Arcoíris presenta un valor mayor. Estas diferencias posiblemente se relacionan con diferencias en sensibilidad y resolución visual entre las dos especies y podrían reflejar adaptaciones del sistema visual al medio. En conclusión, puede decirse que histológicamente los ojos de ambas especies siguen el patrón general de los teleósteos, pero que entre ellas exhiben diferencias, especialmente la ausencia de la glándula coroides y cartílago en el Capitán de la Sabana. También, el mayor tamaño de los ojos, el cristalino, el espesor de la retina, y la córnea en la trucha, reflejan la diferencia de hábitat entre las especies y puede exponer la mejor adaptación de la Trucha Arcoíris a los cuerpos lénticos.

El *Eremophilus mutisii* es una especie que necesita espacio, fenómeno importante que influye en el desarrollo del pez en aguas de los embalses. Se sabe que esta especie es muy territorial y que requiere espacios amplios para refugiarse para evitar la competencia por el espacio. (Pinilla et al., 2006).

4.4 Aprovechamiento Indiscriminado de la Especie

La sobrepesca es un fenómeno que afecta a las especies más demandadas. Se define como el nivel de captura excesivo de una especie por unidad de tiempo en relación con su reserva y su capacidad de regeneración. En los embalses de Colombia se reportan sobre pescas y métodos inapropiados de captura.

La producción pesquera de los embalses en Colombia es moderada a baja en los embalses de climas templados y climas fríos, aunque promisoriosa y a veces importante en los de tierras cálidas (54.3 ton/año en Prado). En clima frío no alcanza un nivel para poder explotarla económicamente, ni a niveles artesanales en ningún caso conocido, sin embargo, tiene interés deportivo, como la trucha en el embalse del Neusa. En climas medios se presenta una situación intermedia, con aprovechamiento artesanal en Guatapé, y de significativa importancia para pesca deportiva y recreacional en el lago Calima. En climas cálidos hay pesca artesanal importante local y regionalmente, basadas en la elevada producción de arenca *Triporpheus magdalenae*. En el embalse de Prado la mojarra negra (*Petenia umbrifera*) fue sustituida por la doncella (*Ageneiosus caucanus*) y Tilapia (*Oreochromis niloticus*) (Merino, Bonilla, & Bages, 2013).

En el caso del pez Capitán de la Sabana, se ha podido conocer que existe una captura artesanal en la laguna de Fúquene, por habitantes de la región que lo usan como fuente de alimento, para eventos especiales, o para su comida diaria, sobre todo en épocas de reproducción del pez donde se facilita capturarlo. En el embalse del Neusa también es capturado en la época del rebote, es aquella donde los peces salen a la orilla del embalse para reproducirse y son fácilmente capturables, esto fenómeno ocurre una vez al año en épocas de invierno, y los pobladores salen a capturarlos, con trinchos y lonas en demasía. Esto es un problema ecológico

de importancia ya que afecta el ciclo reproductivo de la especie (Valderrama & Hernández, 2005).

En la laguna de Fúquene (Valderrama & Hernández, 2005) reportaron que existen 48 pescadores permanentes, quienes dependen económicamente de este recurso. Sin embargo, más de 150 personas ejercen faenas de pesca a manera de alternativa de subsistencia, siendo la carpa y el Capitán de la Sabana las especies más utilizadas como fuente de seguridad alimentaria, y la comunidad de peces está siendo dominada, en abundancia, por las especies introducidas.

El Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), la Guapucha (*Grundulus bogotensis*), el Capitanejo (*Trichomycterus bogotense*) y el cangrejo de la Sabana (*Neostrengeria macropa*) son las cuatro especies endémicas de la laguna de Fúquene. Aunque todas son fuente de proteína para los campesinos pescadores, las dos primeras representan las más codiciadas, la primera por su carne, mientras que la segunda, que es muy pequeña, se fritada para acompañar el maíz tostado o se usaba como carnada. Los métodos utilizados para pescar al pez consistían en varias técnicas, los métodos tradicionales de pesca y los únicos que existieron hasta la década de 1980, son el “arpón”, el “muchilo” y la “cabuya”. El primero es un artefacto de madera que cuenta con gajos muy afilados que se incrustan al extremo de una vara larga. Los pescadores lo usaban menos que cualquier otro instrumento porque requiere de mucho trabajo, concentración y “silencio” o poco viento; al lanzar el arma hacia el interior del agua, con mucha experiencia y un poco de suerte se conseguía atrapar un solo pez, luego de que su filo lo atravesara. (Guerrero García, 2014).

La técnica del muchilo, consiste en un aro y una red o mochila en forma cónica y hecha de piola, y una vara; su elaboración es un arte también masculino, transmitido de abuelos a hijos y a nietos, que requiere de paciencia y mucho tiempo dado que el resultado es un tejido fino. Su

uso demanda de dos personas como mínimo: una dirigiendo la lancha y otra sosteniendo el muchilo, aunque a veces resultaba efectivo que una tercera se encargara de hacer ruido dentro del agua para asustar a los peces, dirigiéndolos hacia donde los esperaban los muchilos. Estos últimos funcionaban como un “colador” que recogía Guapucha y Capitán. Una de las grandes ventajas que se le atribuían a este instrumento es que no necesitaba mayores cuidados para guardar. (Guerrero García, 2014). La cabuya es otro método, pero no efectivo con los capitanes, ya que requiere de un anzuelo.

Sobre el aprovechamiento del recurso pesquero a nivel artesanal, es notable destacar que los pescadores aprovechan especies como el Capitán y la Guapucha; El pez Capitán para consumo doméstico, y la Guapucha como carnada para la pesca de trucha. sin embargo, se pudo establecer que ningún pescador se dedica a pescar de manera exclusiva estas especies y su extracción es casual en las redes o en los anzuelos. (Pedroza Ramos, Caraballo, & Aranguren Riaño, 2016).

Recientemente los campesinos registran eventos de mortalidades masivas de peces, no obstante, se trata de situaciones aisladas que han estado relacionadas, en su mayoría, con la apertura de las compuertas que regulan el caudal del río Ubaté, principal efluente de la laguna de Fúquene, y a la pésima calidad del agua que aporta (Guerrero García, 2014).

Los estudios en este aspecto subrayan que los peces han logrado adaptarse a las nuevas condiciones de la calidad de agua, especialmente el Capitán *Eremophilus mutisii* que tiene la extraordinaria capacidad de soportar bajos niveles de oxígeno o incluso su ausencia. Paradójicamente, la invasión de vegetación acuática ha beneficiado a ciertas poblaciones, en la medida que ha contribuido a disminuir la presión de la caza y de la pesca por la misma dificultad

que implica la “maleza” y los obstáculos para el acceso a la laguna de Fúquene (Guerrero García, 2014).

Los médicos colombianos Francisco Bayón y Liborio Zerdla, describen entre 1864 y 1871, que el pescado conocido como Capitán (Figura 11) era una fuente importante de yodo, que prevenía la aparición del bocio; el cambio de los ecosistemas y la desaparición de los camellones hace que esta enfermedad sea predominante por la carencia del yodo en la alimentación. (Sotomayor & Pérez, 2001).



Figura 11. Preparación del Pez Capitán Fuente: (Pineda, 2015)

En términos estrictos no se trata de un bagre que pueda ser catalogado como de gran porte y las tallas normales de distribución pueden encontrarse entre los 20 y 25 cm. Aun así, se han registrado ejemplares de tamaños superiores, como los 38 cm, con algo más de 500 g de peso, lo que indica que la especie presenta tamaños que podrían considerarse como comercialmente aceptables (Prieto & Landines, 2015).

Además de la favorable percepción local que se tiene sobre su sabor, confirman un perfil de ácidos grasos que lo hace interesante en términos nutricionales. En composición proximal, el

filete de Capitán presenta casi un 16% de proteína y un 0.6% de contenido graso. (Prieto & Landines, 2015).

En el transcurso de los últimos diez años la mayoría de habitantes de Fúquene ha renunciado a la pesca para reemplazarla por otra ocupación que genere mayores ingresos, esta se ha convertido en una actividad esporádica. La pesca de capitanes es arraigada entre pobladores de la laguna de Fúquene y embalse del Neusa, al pez se le atribuyen propiedades curativas, afrodisíacas que hacen parte de la idiosincrasia de los pobladores. Debido a que actualmente es posible encontrar fuentes de proteína animal de más fácil acceso, los habitantes actuales, no subsisten de la pesca del *E. mutisii*, debido a que es difícil capturarlo, ya que esta especie habita en las profundidades de los cuerpos de agua buscando su alimento en los fondos lodosos. Además de esto, hay cierto temor de los pobladores de contaminarse de metales pesados cancerígenos, ya que estos no desaparecen por más que el pez sea cocinado, y se bioacumula. De esta forma el lugar más propicio para conseguir capitanes sin riesgo de contaminación por metales pesados es el embalse del Neusa, donde en la época invernal los pobladores más por tradición que por modo económico de subsistencia acuden a las orillas del embalse a capturar el pez, casi que con un mínimo esfuerzo (Caicedo. obs. Pers).

5 Estrategias de Conservación de la Especie *Eremophilus mutisii*

La actividad piscícola se origina en Colombia hacia finales de la década de 1930, cuando el país importó 100.000 ovas fecundadas de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*), que se destinaron para la estación Las Cintas, en Tota, Boyacá. De esta forma nace la piscicultura en Colombia a partir de una especie introducida, la tendencia a cultivar peces introducidos parece haber sido el camino a implementar por los piscicultores colombianos, pues hacia los años cuarenta se introducen carpas asiáticas y hacia 1982 entran al país las tilapias o mojarras africanas, columnas presentes de la actividad piscícola nacional (González Acosta J., 2014).

En el país como en el mundo, la actividad piscícola es prometedora. Se estima que la producción pesquera y acuícola en el país es de aproximadamente 162.000 toneladas/año, el 51 % se calcula que son producidas por acuicultura cerca de 75.000 toneladas/año, representadas mayormente en Tilapia (*Oreochromis* sp), Trucha (*O. mykiss*), Cachama Blanca (*Piaractus brachypomus*) y Camarón Marino (*Litopenaeus* sp.) (González Acosta J., 2014).

Lo anteriores datos evidencian que se produce más producción pesquera por cultivos piscícolas que por extracción de fuentes hídricas y esto se debe a la degradación de estos cuerpos de agua. En Colombia la pesca artesanal hace parte de la seguridad alimentaria y sustento económico en muchas regiones en el país, sin embargo, el cultivo de peces viene en aumento, principalmente de especies foráneas.

Teniendo en cuenta las anteriores consideraciones, el crear una técnica específica para la reproducción en cautiverio de una especie endémica en Colombia, es todo un reto, ya que se debe encontrar el procedimiento adecuado y su masificación entre los piscicultores.

El Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*), tiene un nicho económico específico dentro de los pobladores de la cuenca alta del río Bogotá, que lo aprecian dentro de su gastronomía, de tal forma que incentivar a estas comunidades en un futuro a criarlos y explotarlos económicamente sería un buen incentivo para conservar la especie. De igual manera, el lograr la reproducción en cautiverio ayudaría a preservar la especie y su material genético, para alcanzar programas de repoblación en el hábitat natural de la especie.

5.1 Reproducción del *Eremophilus mutisii* en su Hábitat Natural

Indica (Rosado et al., 2007) que en algunos embalses, como el Neusa, en determinadas épocas del año se presenta, una migración masiva de peces hacia las orillas, fenómeno reproductivo conocido popularmente como subienda o rebote. La subienda se realiza normalmente en las noches, caracterizada por la presencia de un gran número de machos y hembras en la zona litoral del embalse, donde se realizan la actividad de cortejo y la fertilización de ovas.

Las hembras tienen una longitud entre los 24 y 30 cm mientras los machos entre 20 y 37 cm. (Mayorga, 1992) afirma que la reproducción de *E. mutisii* en la laguna de Fúquene ocurre de forma precoz, quizás debido a la sobrepesca o a la influencia de las condiciones fisicoquímicas de ese cuerpo de agua sobre la especie.

El estudio de (Bohórquez et al., 2012) permitió identificar parámetros merísticos y morfométricos de *E. mutisii*, que ha permitido distinguir entre macho y hembras según las espinas de las aletas dorsales, ellos hallaron un mayor número de espinas en la aleta dorsal de los machos examinados, ya que se han encontrado hasta seis espinas, mientras que en las hembras estudiadas el máximo número de espinas en esta aleta es tres. Los valores de longitud total de *E.*

mutisii en el tramo que recorre el río Bogotá en Suesca Cundinamarca, fueron más bajos comparados con los encontrados en otros sistemas acuáticos, tales como el lago de Tota, Quebrada Honda y los embalses del Muña y Neusa lo cual señala que las tallas de hembras y machos varían en cada sistema.

(Benavides, Martínez, & López, 2007) Hallaron que las hembras de *E. mutisii* poseen maduración ovárica de tipo asincrónico debido a que las gónadas de los individuos maduros estudiados tenían folículos en diferentes estadios de desarrollo durante el año, comprobó que en la laguna de Fúquene se encuentran anualmente ejemplares maduros; apuntando a que la especie podría reproducirse en cualquier época del año.

Para el embalse del Muña, (Cala, 1986) encontró que esta especie exhibe un periodo de reproducción extendido, que inicia en mayo y finaliza en agosto, con picos máximos en junio y julio, conforme con lo observado por (Mayorga, 1992), en cuanto a picos en mayo y noviembre, en épocas de incremento de niveles del agua en estos humedales.

El promedio de ovocitos calculados para una puesta potencial es de (29929.402 huevos) indicando inicialmente una alta fecundidad para el *Eremophilus mutisii* (Bohórquez et al., 2012).

Los indicadores reproductivos utilizados para analizar la época reproductiva son el Índice Gonadosomático (IGS): Cálculo del peso de la gónada como porcentaje del peso total del cuerpo, el cual se utiliza para medir la madurez sexual en relación con el desarrollo sexual de los ovarios o los testículos.

Según los resultados obtenidos, el tamaño y peso del ovario, el número de ovocitos y el IGS están en proporción con la longitud del pez. Así, el IGS es más alto seguidamente de la ovulación. las hembras estudiadas en etapa preovulatoria, exhibieron gónadas con un peso que

llama la atención en relación al peso total. Los machos examinados también presentaron la característica de que, a mayor maduración gonadal, existe un mayor peso y por ende un IGS más alto (Bohórquez et al., 2012). De las investigaciones disponibles de distribución y tallas promedio de *E. mutisii* no es posible concluir que la longitud es un parámetro que define siempre el dimorfismo sexual en esta especie, pues es evidente que las tallas de hembras y machos varían en cada cuerpo de agua (Ver Tabla 1).

Las épocas de reproducción de *E. mutisii* en la zona de Suesca (Cundinamarca) corresponden a períodos de lluvia (marzo-abril; octubre-noviembre) (Bohorquez, 2012). La especie reporta (Prieto & Landines, 2015), presenta madurez gonadal tanto en machos como en hembras durante todo el año, sin embargo, se observan dos picos reproductivos en los meses de abril-mayo y de octubre a noviembre. En general los picos reproductivos están asociados a la época invernal.

La duración de la reproducción de *Eremophilus mutisii* se amplía de mayo a agosto. Con un máximo en junio-julio si se compara con la de peces de zonas templadas, donde las estaciones son bien definidas, que se reproducen en un periodo de tiempo muy corto. La época de la reproducción es dependiente a las fluctuaciones ecológicas relacionadas con factores ambientales, tales como duración y tiempo de iniciación y terminación del periodo de sequía, iniciación e intensidad inicial de las primeras lluvias del año. Parece que el periodo reproductivo del Capitán en el sistema del río Bogotá solo se inicia cuando sus aguas han alcanzado un nivel alto con estas lluvias en abril-mayo. La época de reproducción varía en cada sistema acuático y siempre está asociado a la época invernal en todos los casos que es muy variable en la región Cundiboyacense. El *E. mutisii* es un pez de reproducción anual.

Las hembras de tallas mayores de 15 cm de longitud total, se consideran sexualmente maduras o con ovocitos en los primeros estadios de la ovogénesis, o aptas para ovular en el periodo de ovulación más inmediato. Las hembras antes y durante el desove principalmente de abril a agosto son fácilmente separables por el mayor tamaño del abdomen y porque la coloración amarillo-dorado del vientre es más intensa (Cala, 1986). El ciclo reproductivo anual y espermatogénesis del *Eremophilus mutisii* fue clasificado en tres fases por (Cala, 1986) estas fases se describen así:

Fase pre-reproductiva: La fase va de septiembre a abril, desde la formación de los espermatogonios y subsecuentemente la de los espermatofitos, espermatides y espermatozoos. Al finalizar la fase, el ciclo espermatogenético se ha completado con la formación de los espermatozoos. Durante el verano o periodo de sequía de diciembre a marzo el teste atraviesa por una fase de poca actividad gonadal.

Fase reproductiva: La reproducción se lleva a cabo entre mayo y agosto. Este tiempo extenso de reproducción no se debe a que un mismo individuo se reproduzca por etapas o intermitentemente. Todo indica que esta especie desova y fecunda sus huevos, de manera continua solo durante algunos días, este fenómeno ha sido observado en peces tropicales. A principios del periodo se encuentran peces con gónadas completamente vacías, pero generalmente se reproducen a mediados del periodo, junio o julio, y finalmente algunos en agosto. También se observó que los primeros peces en reproducirse, son los de mayor tamaño y finalmente los más pequeños, y probablemente los que se reproducen por primera vez. (Cala, 1986)

Fase post-reproductiva: Un teste después de la reproducción presenta lóbulos con el lumen bien determinado por haber estado ocupado por los espermatozoos eyaculados durante la fecundación; con frecuencia esta fase empieza en agosto, luego del periodo reproductivo, pero en realidad, de acuerdo con la fase reproductiva, esta fase comienza en mayo para los primeros capitanes en reproducirse y en agosto para los últimos. Así, tan pronto el macho ha eyaculado se inicia una intensa proliferación espermatogonial y el proceso espermatogenético se pone en marcha. Al comenzar el periodo seco alrededor de diciembre los testes ya están llenos de espermatozoos, los espermatozoos residuales son absorbidos aparentemente por fagocitosis. (Cala, 1986)

5.1.1 Repoblación del *Eremophilus mutisii*. El objetivo de todo acto de repoblación es lograr la restauración del equilibrio biológico de diferentes ecosistemas, en este caso acuáticos logrando la promoción del incremento de poblaciones naturales de las especies ícticas para evitar la extinción.

La repoblación hidrobiológica, según la ley colombiana en el artículo 133 del Decreto 1681 de 1978 (reglamentación en materia de recursos hidrobiológicos), es todo acto que conduzca al establecimiento en medios ecológicos adecuados de especies nativas extinguidas o en proceso de extinción, dentro de su área original de distribución.

El estado colombiano ha realizado muchos intentos de repoblación de especies ícticas en varias regiones, pero son actos de liberación sin rigor científico e indiscriminado de alevinos de especies como Tilapia, Trucha, Bocachico, donde existen evidentes beneficios para los pescadores artesanales (González Acosta J., 2014). Estos actos carecen, en gran parte, de bases científicas tanto para las poblaciones receptoras como para las poblaciones introducidas, y lo que

se busca es generar recursos pesqueros artesanales para los pobladores, más que repoblar las zonas con especies nativas.

El *Eremophilus mutisii* (Humboldt, 1805), es una de las especies nativas de las sabanas de Bogotá y de Boyacá y el único bagre de aguas frías con buenas posibilidades de producción en piscicultura (Rodríguez et al., 2005). El cultivo es una buena opción para su conservación y para el repoblamiento en cuerpos de agua.

Dentro de las especies nativas cultivadas con gran éxito en Colombia están la Cachama blanca (*P. brachypomus*), el Bocachico (*P. magdalenae*), el Yamú (*Brycon amazonicus*) y algunas especies de bagres. El levante de larvas sigue presentado altísima mortalidad y es el punto crítico de las granjas piscícolas dedicadas a la reproducción (González Acosta J., 2014).

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, inicia los estudios de reproducción en cautividad del *Eremophilus mutisii* en el embalse del Neusa en 1988, donde se dificultó la reproducción del pez en cautiverio y mantener la viabilidad de los reproductores y alevinos reproducidos. Se obtuvieron datos importantes, pero no se obtuvo éxito reproductivo, principalmente por infección cutánea por hongos que presentaron los peces durante su manipulación en cautiverio, lo cual redujo la densidad poblacional, y la actividad reproductiva (Rodríguez, 1991).

Con el uso de incitadores hormonales se ha logrado por parte de (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) la reproducción en cautiverio y desarrollo embrionario del *E. mutisii*, concluyendo que es factible utilizando como inductor el extracto de hipófisis de carpa en una dosis total de 5,5 mg/Kg, con aplicación preparatoria del 10% y definitiva del 90% que logra la maduración de los *E. mutisii* ovocitos.

Complementariamente, la universidad de Nariño, realizo pruebas de bioensayos de reproducción inducida para la especie en condiciones de cautiverio, empleando para tal fin, Gonadotropina Coriónica Humana (HCG y extractos pituitarios de carpa (EPC). Conjuntamente, comprobaron que las sustancias mencionadas estimulan la ovoposición de hembras sexualmente maduras en cautividad.

Por otra parte, los machos incrementan la eyaculación seminal por efectos de la Gonadotropina Coriónica Humana (GCH). La inducción con estas sustancias se registró a una temperatura promedio de 14° C y el desove se evidenció en un periodo de 15 a 17 horas después de ser sometidos a las sustancias hormonales. Lo anterior conduce a que *E. mutisii* es una especie de difícil manejo en cautiverio, y que no existe una técnica estandarizada de reproducción en cautividad del pez Capitán.

5.2 Reproducción del Capitán en Cautiverio

Los intentos de reproducción de esta especie en situ y el trabajo para capturarlo ha sido un reto para los investigadores, el pez ha tenido poca adaptación al cautiverio y se requieren de muchos estudios y observaciones, para estar cerca de lograr una reproducción viable en cautiverio del *Eremophilus mutisii* y por esto ha sido difícil crear un plan de repoblamiento de la especie en su hábitat natural que se ve alta mente afectado por la intervención antrópica en la región Cundiboyacense, y actualmente se le considera una especie en peligro de extinción.

Los estudios y bioensayos que se han desarrollado para la reproducción del *E. mutisii* iniciaron con el INDERENA y COLCIENCIAS en 1985 (Lara, Garzón, & Del Castillo, 1985) , desarrollaron los primeros cultivos experimentales sin éxito aparente. Posteriormente la CAR, en 1988, y en los años presentes universidades como la Salle y la UDCA.

Entre los trabajos realizados encontramos que se ha realizado una evaluación del semen de *E. mutisii* por parte de Montejo (citado en Bastidas & Lemus, 2014), en esta evaluación se comparó muestras de ejemplares capturados en el embalse del Neusa con otros mantenidos en cautiverio y se encontró que el volumen de semen en peces proveniente del embalse del Neusa fue significativamente mayor que los del cautiverio.

Complementariamente en los estudios sobre criopreservación del semen de *E. mutisii* en la laguna de Fúquene realizados por (González O. E., 2002) mediante una caracterización fisicoquímica y microscópica, indicaron la posibilidad de obtener porcentajes superiores al 80% de motilidad espermática post des congelamiento con tratamientos de DMSO al 8% en diluciones del 1:7 y 1:10 y concentraciones del activador NaCl 0,2431 osmol.

La crioconservación de semen de peces, como de otras especies, exhibe efectos que disminuyen la calidad espermática y complican directamente la capacidad de la célula para participar con éxito en las técnicas de fertilización y desarrollo embrionario. (González O. E., 2002).

Por otra parte, el *Eremophilus mutisii*, fue cultivado en diferentes densidades en pequeños lagos artificiales localizados en Caldas, Boyacá, Colombia por (Pinilla et al., 2006). Al principio, la media de la longitud corporal fue 10 cm y el peso fluctuó entre 9 y 10 gr. Los peces se encontraban en estados iniciales de desarrollo sexual. Luego de un año de pruebas, los peces cultivados a una densidad de 0.5 ind/m² incrementaron 5.22 cm en longitud y 27.23 gr en promedio (1 ind/m²: 1.98 cm y 8.79 gr; 2 ind/m²: 2.45 cm y 0.82 gr). Los peces se encontraban iniciando su madurez sexual, y su factor de condición fluctuó entre 0.61 y 0.96 y consumían principalmente larvas de insectos. El bentos estaba sujeto por efipios de *Daphnia*, *lumbricúlidos*

y larvas de quironómidos. La biomasa de organismos bénticos osciló entre 0.1126 y 1.3847 gr/m². En la comunidad litoral, los insectos acuáticos fueron los componentes más importantes, especialmente los hemípteros. La biomasa de la fauna litoral osciló entre 0.14 y 4.05 gr/m².

Los reservorios de agua estudiados por (Pinilla et al.,2006) tenían un pequeño número de especies de macro invertebrados bentónicos y litorales. La biomasa de los litoral y especialmente de los organismos bentónicos encontrados fue relativamente baja. Estos datos muestran la simplicidad ecológica de los pequeños ecosistemas acuáticos estudiados.

Sin embargo, los grupos taxonómicos encontrados en el contenido de estómago del *Eremophilus mutisii*, como las larvas de insectos y oligoquetos, reflejan la utilización de reservas de alimentos (Pinilla et al., 2006). Los aumentos en longitud y peso del *E. mutisii* no alcanzaron tamaño comercial en los embalses estudiados.

Aparentemente los individuos que vienen de la Laguna Fúquene tienden a crecer más rápido que los que vienen de otros lugares por una mayor disposición de alimento. En relación con la distribución por sexo, en la Laguna Fúquene la proporción reportada por (Mayorga, 1992).

El desarrollo de las gónadas después de un año de experimentación indica que los peces no eran aun completamente maduros sexualmente. El *E. mutisii* de la laguna de Fúquene. Alcanza primero la madurez sexual entre 14 y 20 cm de longitud total. El contenido estomacal observado para el *E. mutisii* en pequeños embalses tiene algunas diferencias con las encontradas por los ensayos de (Mayorga, 1992) en la Laguna Fúquene.

El desarrollo de las gónadas después de un año de experimentación de (Pinilla et al., 2006) revela que los peces estaban madurando sexualmente pero no completamente. Los reproductores serían necesarios para repoblar reservorios periódicamente o para desarrollar

métodos hormonales para obtener la reproducción de *E. mutisii* en estas condiciones. El contenido estomacal observado para el *E. mutisii* en pequeños embalses tiene algunas diferencias con las encontradas por (Mayorga, 1992) en la laguna Fúquene, que puede atribuirse al hecho de que en los pequeños embalses la composición de las comunidades bentónicas y litorales es diferente.

La madurez y antigüedad del sistema lagunar del Fúquene, en contraste con la reciente creación de los embalses artificiales, pueden ser responsables de las diferencias, en cuanto a reproducción y hábitos alimenticios del *E. mutisii* (Mayorga, 1992).

La familia Trichomycteridae a la que pertenece el *E. mutisii* es uno de los grupos más representativos del sistema hidrográfico en alturas elevadas y arroyos. Esta familia es un ejemplo de gran adaptabilidad siendo capaz de vivir en ambientes de llanura, así como también en arroyos cordilleranos (Fuchs, Fernandez, Nadalin, & Lopez, 2013).

Comparativamente el *Trichomycterus* es un género de peces gato, el mayor en número de especies de la familia Trichomycteridae, es un tipo de pez pequeño que presenta, una adaptación a las pequeñas dimensiones de las corrientes de agua. La proporción entre los sexos varía considerablemente de una especie a otra, y también puede variar dentro de la misma población de un año a otro. La dieta de *Trichomycterus sp.* Se compone principalmente de insectos acuáticos, según (Fuchs et al.,2013), la fecundidad es una característica específica y se adapta a las condiciones del ciclo de vida de las especies, se ajusta a la estrategia oportunista un largo período reproductivo sincronizado con la temporada de lluvias. Así como también lo hace el *E. mutisii*.

Una mayor densidad de población conduciría a una mayor competencia por los recursos alimentarios. Estas observaciones realizadas por (Pinilla et al., 2006), sugieren la necesidad de establecer una dieta suplementaria para mejorar el crecimiento y engorde de los peces bajo altas densidades. En los embalses artificiales estas condiciones alimenticias son escasas. El *E. mutisii* es difícil de capturar en los pequeños embalses artificiales. Los peces bentónicos como *E. mutisii* se encuentran en la zona profunda o bentónica, por encima o dentro del sustrato, lo que genera un problema adicional para trabajar con los mejores ejemplares.

Asimismo, se obtuvieron resultados de adaptación exitosa al cautiverio de *Eremophilus mutisii* capturados en la región de Suesca Cundinamarca por (Prieto & Landines, 2015); estos presentaron pesos promedio de 90,45 g y longitud total promedio de 23,45 cm, donde exhibieron madurez gonadal tanto en machos como en hembras durante todo el año, sin embargo, se observan dos picos reproductivos en los meses de abril-mayo y de octubre-noviembre, cuyo periodo es consecuente con la mayoría de investigadores, con una fecundidad total de 26.000 ovocitos y una fecundidad relativa de 194.000 ovocitos maduros/kg. Los resultados de peso y longitud para hembras fueron de 98,2 gr y 24,1 cm, para machos fue de 82,7gr y 22,8cm. Fueron alimentados por (Prieto & Landines, 2015) utilizando concentrado, reportando aceptación del alimento entre los 2 a 3 días posteriores al ofrecimiento inicial del alimento. La reproducción se logró en cautiverio, obteniendo larvas hasta los 6 días post-eclosión. Los resultados de Fecundidad Total y Relativa, cuyos valores fueron: 26.000 ovocitos de fecundidad total y 194.000 ovocitos maduros/kg de fecundidad relativa.

El objetivo de la investigación de (Prieto & Landines, 2015) se orientó hacia la conformación de un grupo de reproductores, para este fin se propone lograr la adaptación de tales

especies al cautiverio por medio del establecimiento de protocolos con el que se garantice la supervivencia de un gran porcentaje de los ejemplares, ya que los organismos que sobrepasan esta etapa se pueden considerar futuros reproductores y que a la fecha continua en proceso de avance del conocimiento.

Finalmente (Prieto & Landines, 2015) acondiciono en tanques plásticos de 1000 y 2000 litros con sitios de baja luminosidad. Periódicamente se realizaron allí pescas en los tanques, con el fin de hacer seguimiento a la condición física de los ejemplares y a su vez acostumbrarlos a la manipulación. Se considera adaptado un individuo al cautiverio cuando: los peces aceptan alimento balanceado, la mortalidad sea baja y posea un grado de domesticación.

El consumo de alimento balanceado en el caso de los capitanes, se da cuando el alimento se hidrata llegando al fondo del estanque en donde es consumido; proceso logrado con éxito en este trabajo a los 2 a 3 días siguientes al ofrecimiento inicial del alimento. Se han logrado sobrevivencias durante más de 4 meses bajo estas condiciones, sin embargo, se debe trabajar sobre otras fuentes de alimento y mejorando la condición de los individuos. La siguiente fase que se proyecta en el desarrollo larval de la especie, es ofreciendo diferentes tipos de alimento, con el objetivo de una producción masiva de alevinos (Prieto & Landines, 2015).

5.2.1 Consideraciones sobre la cría de peces. Para criar peces en condiciones controladas son varias las consideraciones que se deben tener en cuenta.

Se debe simular las condiciones naturales de la especie en su hábitat natural, para que la especie se adapte mejor. Sin embargo, esto no es tan fácil, y aún más si se trata de especies nativas, y por así decirlo no se han “domesticado” y acondicionado al cautiverio. La mayoría de las problemáticas asociadas al desarrollo de los peces en cautiverio, están agrupadas al estrés del

animal y a las patologías que se desarrollan por la cautividad, así como los problemas para la reproducción de los peces naturalmente sin la intervención hormonal o manipulación física, no obstante, se reconocen ciertas particularidades que ejemplifican los pasos a seguir en la cría de peces; técnicas que se han protocolizado y que son de uso estándar en el desarrollo piscícola.

Entre estas técnicas se aplica la limnología a la acuicultura, que de acuerdo a (Alabaster, 2013) depende de la especie del pez, para así poder aplicar los parámetros físico químicos adecuados. Las especies de aguas cálidas soportan temperaturas de 23 a 31°C; especies como las truchas o el *E. mutisii* en cambio, deben ser incubadas a 10°C, por ser de aguas frías, pero levantadas y engordadas a 17°C debido al metabolismo, pero la incubación debe ser cercana a 10°C debido a que el alevín necesita desarrollarse a esa temperatura y si se incuba a 17°C nace prematura y sin un desarrollo óptimo. Las condiciones ambientales inadecuadas, el mal manejo de los peces, la mala alimentación y el estrés del cultivo generan dificultades al proceso normal de reproducción de los individuos mantenidos en cautiverio, los que afectan en forma más marcada a las hembras que al macho.

El rango óptimo del pH está de 6.5 a 9, ya que afecta el metabolismo del pez, e induciendo daños epiteliales, y daños en el sistema inmune del pez. La acidez del agua está directamente relacionada con el suelo del estanque. Las especies de agua dulce requieren de acuerdo a aguas blandas, y las especies marinas requieren aguas duras. El OD recomendado es de 3ppm. Los estanques que tienen aireación nocturna producen mayores rendimientos en los peces que aireación constante porque un aireador trabajando todo el tiempo se convierte en un desaireador porque una vez saturada la agua la empieza a desaturar (Alabaster, 2013).

El ambiente artificial, aunque es menos peligroso porque se eliminan predadores y algunos otros riesgos físicos, como rocas y contaminantes exógenos, puede resultar contraproducente; (Rodríguez et al., 2005) describe que se presentan epizootias importantes con enorme morbilidad y mortalidad por el alto grado de contacto directo entre los peces, cuando éstos se encuentran hacinados por el estrés. Los microbios oportunistas como las bacterias del género *Aeromona*, y las enterobacterias de los géneros *Escherichia* y *Pseudomona* son responsables de la mortandad de peces durante su aclimatación, cultivo y posterior almacenamiento para la venta, provocando procesos patológicos durante estas fases. han presentado gran mortalidad y los reportes mencionados coinciden en afirmar que hay una asociación entre el estrés, inherente a la manipulación de los animales y los cambios en su ambiente natural y las bacterias contaminantes oportunistas, que serán los principales factores desencadenantes de estas mortalidades (Rodríguez et al., 2005).

El estrés se produce por procesos rutinarios en la manipulación de los peces, como lo son el traslado de estanques y toma de muestras o inyecciones. El estrés produce cortisol, esta es una hormona producida en peces por las células interrenales que en condiciones normales juega un papel muy importante en procesos de metabolismo, crecimiento, regulación energética y del equilibrio hidromineral. El cortisol forma parte de la respuesta primaria del organismo, de modo que se utiliza como uno de los marcadores fisiológicos más importantes de estrés en peces. En condiciones normales, los peces presentan ritmos diarios de secreción de cortisol normales, pero bajo estrés esta hormona no opera correctamente, y esta es la encargada de inducir al pez a realizar sus actividades metabólicas y movilidad, pero bajo estrés la hormona no actúa y el pez presenta letargo (López Olmeda, Vera, & Sánchez Vázquez, 2015).

En la mayoría de las especies, los machos se adaptan mejor que las hembras a las condiciones de cultivo a las que son sometidos y son capaces de madurar y producir gametos viables con mayor facilidad. El estrés del cautiverio en los peces puede afectar seriamente el sistema inmune, el crecimiento y la reproducción, alterando varios niveles del sistema endocrino, o el desarrollo de gametos y su calidad, alterando la supervivencia de huevos y larvas. (López Olmeda et al., 2015).

El aumento de los niveles de cortisol plasmático y concentración de glucosa plasmática son respuestas al estrés. Las catecolaminas son rápidamente secretadas por las células cromafines, en respuesta a estímulos nocivos. La hipersecreción de catecolaminas provoca una enorme gama de alteraciones fisiológicas y bioquímicas llamados efectos secundarios como hiperglicemia, hiperlacticemia, depleción de las reservas glicogénicas tisulares, catabolismo de la proteína muscular, colesterol y ácidos grasos libres. Estos cambios persisten pocos días después de que se expone al pez al estímulo adverso, mientras que si la exposición es crónica se puede inducir a cambios como reducción de crecimiento, reducción de la resistencia a enfermedades, reducción de la tolerancia a manipulaciones y reducción del éxito reproductivo (López Olmeda et al., 2015).

La secreción de cortisol se estimula en respuesta a muchos factores de estrés, debido a que la corticotropina viaja, vía circulación periférica, al tejido interrenal. Este efecto primario inicia las respuestas secundarias que son, en primer lugar, disminución de los niveles de proteína muscular (catabolismo) y de glicógeno hepático (gluconeogénesis), manteniendo la hiperglicemia, para poder distribuir la energía; aumento de los niveles sanguíneos de glucosa y de lactatos, así como aumento de la tasa cardíaca y del flujo sanguíneo a las branquias y

alteración de los niveles plasmáticos de ácidos grasos libres; además de alteración del balance hidromineral en sangre y tejidos, produciéndose perturbaciones iónicas y osmóticas, así como un incremento en la osmolaridad del plasma en medios hipertónicos o decremento en medios hipotónicos (López Olmeda et al., 2015).

Además del cortisol, la glucosa y el lactato se utilizan frecuentemente como marcadores de estrés en peces. Estos dos metabolitos forman parte de la respuesta secundaria al estrés. Además, en peces, la respuesta en la secreción de estos marcadores a un estrés agudo por manipulación presenta diferencias en función de la hora del día a la que se aplica dicho estrés (López Olmeda et al., 2015).

Sumado a estos problemas hormonales atribuidos al estrés del cautiverio, en los sistemas de cultivo intensivos, son comunes los problemas de degradación o pérdida de nutrientes o de vitaminas en el alimento como consecuencia de su mal manejo, que conduce a una patología muy específica: la enfermedad nutricional de las branquias, asociada con alimentos de iniciación, la formulación de alimentos con ácidos grasos no saturados, de origen íctico o deficiencia de vitamina (López Olmeda et al., 2015).

La reducción del estrés y sus efectos dañinos es un objetivo común entre todos los productores de especies de cultivo en acuicultura. En general, las respuestas al estrés en peces son similares a las de otros animales y se cree que las maneras de controlar el estrés de los mamíferos podrían ser similares en peces, con caracteres heredables de conducta reactiva y pro activa. Los animales activos tienden activamente a manipular el ambiente, mientras que los animales pasivos tienden a la pasividad. Niveles de estrés sostenidos en el tiempo resultan en cambios significativos en los patrones de nado (Rauw et al., 2015).

Así se describe los principales aspectos que se deben tener en cuenta para el manejo del cultivo comercial o reproducción de especies en la piscicultura, estos dependen de la especie y las particularidades de cada una y su éxito depende de la práctica y el conocimiento general que se tenga sobre el manejo de dicha especie.

5.2.2 Patologías asociadas a la reproducción en cautiverio del *Eremophilus mutisii*.

Las patologías asociadas a la cría de peces en cautiverio son tenidas en cuenta por los investigadores para el éxito reproductivo en cautividad. En general, las enfermedades bacterianas en peces no se desarrollan simplemente como el resultado de una exposición al agente infeccioso, sino que son dependientes de situaciones de estrés causadas por el medioambiente o el manejo en su crianza. Por otro lado, las micosis constituyen uno de los aspectos menos explorados de la ictiopatología pese a que producen grandes pérdidas económicas en acuicultura. Las micosis no solo afectan la salud de los peces sino, además, afectan la calidad del producto destinado al consumidor (Serrano Martínez, Castro, Quispe, Casas, & León, 2014).

Los capitanes que son criados en cautiverio suelen verse afectados por la aparición de úlceras de la piel, las cuales se desarrollaron a partir del segundo día de cautiverio, cuyo tamaño y número se incrementan a medida que pasan los días en cautividad. Es común ver animales aclimatados en cautividad en estanques de piscicultura completamente afectados por úlceras generalizadas, lo cual va unido a la pérdida de coloración de la piel con palidez, natación descontrolada, pérdida de mucus, invasión por hongos y finalmente una alta mortalidad superior al 50% del total de la población. Esto contrasta con los peces que se encuentran en su estado natural donde no se conocen casos donde los peces presenten úlceras (Rodríguez et al., 2005).

La descripción macroscópica de las úlceras encontradas por (Rodríguez et al., 2005) muestran que están rodeadas por tejido enrojecido, donde se puede apreciar el margen o borde de la inflamación alrededor de la lesión. Las heridas son profundas y llegan a exponer la musculatura del animal. Los cortes histológicos de piel indicaron necrosis de la epidermis y del tejido subyacente con cantidad considerable de células pigmentarias, granules superficiales y profundas, acúmulos de linfocitos, inflamación que se desarrolló hasta el tejido muscular y a grasa peri visceral, acompañada de colonias bacterianas. Los cortes de las branquias expusieron hiperplasia epitelial y fusión de las laminillas branquiales, las lamelas se mezclaron entre los grupos de células hiperplasias, lo cual en conjunto representa una reducción en la superficie respiratoria, que a su vez crea dificultades respiratorias y un incremento del estrés del animal, mientras que en el hígado no se observaron signos de infección o de inflamación.

Propone (Rodríguez et al., 2005) que se deben tomar previsiones como la administración de métodos profilácticos, impidiendo un cambio brusco del agua o de la temperatura, sometiendo a los peces a baños de sal al 5% y minimizando la manipulación, sugiere incrementar el estudio del diseño de vacunas específicas en el país y el uso de inmune estimulantes como los prebióticos, con el fin de reducir las pérdidas económicas producidas por estas infecciones, mejorar la supervivencia de los animales en situaciones de alto estrés, e incrementar la productividad de las granjas de cultivo. Durante el transporte disminuir la temperatura del agua con el fin de reducir el metabolismo del animal, administrando después de los primeros días de captura, antibióticos como tetraciclina en dosis oral de 75 mg/kg de peso vivo durante tres días. estreptomycin en inyección intraperitoneal de 5mg a 10mg por cada 150g de peso vivo, enrofloxacin al 10% 1mL/100 L de agua, con repetición a las 48 horas. Posteriormente se debe renovar parcialmente el agua, durante la adaptación al cautiverio del Capitán de la sabana se

debe abonar el agua con gallinaza y cubrir el tanque con un plástico oscuro, para evitar la incidencia de la luz solar sobre los animales, los cuales son de hábitat bentónico, (Figura 12).

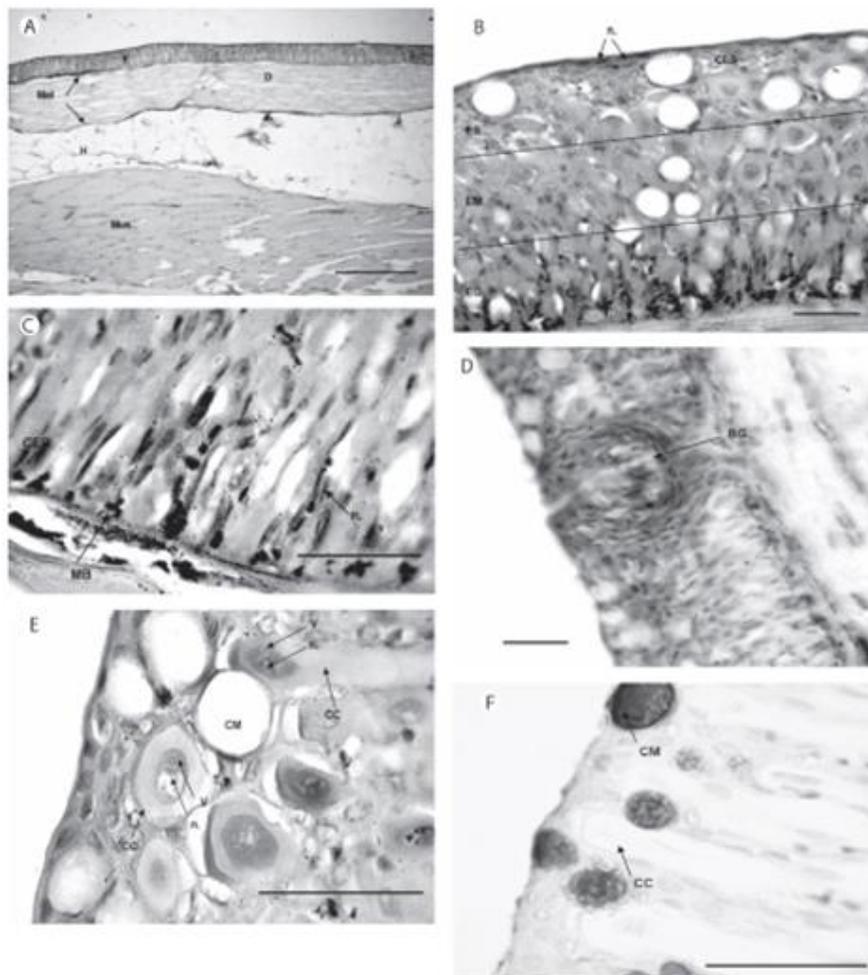


Figura 12. Patologías Asociadas al Cautiverio *E. mutisii* Fuente: (Rodríguez et al., 2005)

Detalle: Cortes transversales de *E. mutisii*. A. Estructura general de la piel epidermis (E): dermis (D): melanóforos. (Mel): hipodermis (H): musculo estriado (Mus) barra= 100 μ B. detalle de la epidermis. Estratos superficiales (ES). medio (EM) y germinal (EG): células epiteliales (CES) y sus núcleos(n)) barra=50 μ C. Células epiteliales en la parte basal (CEB), sus núcleos (n) y la membrana basal (MB) barra=50 μ D. Botón gustativo (BG) E. Células epiteliales (CEB) y sus núcleos (n) F. Células epiteliales (CEB) y sus núcleos (n) y la membrana basal (MB) barra=50 μ

barra = 50 μ E. Células clave (CC) vacuola (V) núcleo (n) 800X F Epidermis Células mucosas (CM) y clava (CC) tinción PAS 800X.

Esto se debe a que se ha encontrado, que cuando el pez se conserva en agua clara y con incidencia solar directa, tanto en procesos de aclimatación como de cultivo, se producen ulceraciones y mortalidad más acelerada que si el agua se encuentra abonada.

La capacidad que presentan las células mucosas para acumular gran cantidad de agua puede reflejar una adaptación significativa de *E. mutisii* a su hábitat particular sustrato fangoso, aguas poco profundas, que esporádicamente podría causarle desecación; se sabe que el mucus que estas secretan puede ayudar a la eliminación de agentes extraños, patógenos y agentes tóxicos. Finalmente, se debe valorar el papel que la secreción de estas células puede cumplir en términos de protección en contra de la colonización de patógenos, la cual sería muy probable en *E. mutisii* debido al efecto de abrasión o fricción que tiene su cuerpo al ser este un pez bentónico con actividad generalmente nocturna. (Bonilla Lizarazo, Quintero Virguez, Gomez Ramírez, Rodríguez Caicedo, & Hurtado Giraldo, 2008).

5.2.3 El uso de las gonadotrofinas. En los peces, como en todos los vertebrados, la reproducción es regulada a través del cerebro por medio de la hormona liberadora de gonadotrofina (GnRH) que se origina específicamente en el hipotálamo.

Este decapeptido incita la producción de gonadotrofinas (GtH) por parte de la hipófisis o pituitaria. El control de la reproducción que cumple esta glándula es a través de dos hormonas gonadotróficas: la hormona folículo estimulante (FSH o GtH I), que regula la vitelogénesis en hembras y la espermatogénesis en los machos, y la hormona luteinizante (LH o GtH II), que se encarga de controlar la maduración final del ovocito en las hembras, durante la vitelogénesis, la FSH o LH estimulan la producción de testosterona (Valdebenito, 2008).

Los primeros compuestos a base de gonadotropinas (GtH), usados para la inducción de la puesta en peces, fueron los homogeneizados y extractos. Su uso comenzó a finales de la década de los '30. Actualmente, este método es utilizado masivamente en la producción de carpas, en los países asiáticos. Se observó que hipófisis provenientes de peces en estadio reproductivo, eran mucho más eficaces para la inducción por su alto contenido en GtH. Esta técnica tiene muchos inconvenientes: la gran diferencia en contenido de LH hipofisario, la presencia de otras hormonas en el extracto que pueden afectar a la fisiología del organismo receptor, y la posibilidad de transmisión de enfermedades (Fernández Palacios et al., 2014).

Las gonadotrofinas regulan la espermatogénesis a través de la producción de andrógenos por el testículo, concretamente la producción de la hormona MIS. La LH y el MIS provocan una elevación en los niveles de semen producidos a través de la estimulación de la producción del plasma seminal, y el MIS estimula la capacidad de movimiento del espermatozoide a través de un ascenso del pH en el plasma seminal (Valdebenito, 2008).

La hipofisación, es el uso de extractos de hipófisis para inducir la puesta en peces, comienza a fines de la década de 1930 en Brasil, en la década siguiente en USA y a inicios de 1950 en Japón (Fernández Palacios et al., 2014).

La preparación de gonadotrofinas purificadas de salmón Chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*) y de carpa común, fueron muy utilizadas en el pasado. Sin embargo, el elevado costo de la purificación, y la alta especificidad de las gonadotrofinas, han restringido su uso a especies filogenéticamente cercanas (Fernández Palacios et al., 2014).

La Gonadotrofina Coriónica Humana (HCG) por su fácil disponibilidad, es de las gonadotrofinas que ha sido más usada en acuicultura. Es extraída con facilidad da la orina de

mujeres embarazadas, su éxito se debe a su similitud con la Hormona Luteinizante (LH). La ventaja de esta hormona, es que actúa directamente al nivel de la gónada, y no requiere la activación de la glándula hipofisaria, o la presencia de LH almacenado, actuando así mucho más rápido, induciendo la maduración final del ovocito, la espermiación y la puesta (Fernández Palacios et al., 2014).

La mayor contraindicación para el uso de HCG, es que al ser un péptido grande, es altamente inmun- o-estimulante, por lo que resulta ineficaz, si se suministra en la mismas dosis en épocas reproductivas siguientes, ya que el sistema inmune la reconoce como sustancia exógena, y desarrolla anticuerpos específicos contra ella ; por esto cada año es necesario incrementar las dosis, aun así, todavía puede ser insuficiente para el obtención de la puesta. Hormonas liberadoras de gonadotrofinas GnRH y análogos GnRH_a. Rápidamente se crearon análogos sintéticos GnRH_a o LH-RH_a, que actúan como los análogos nativos, pero de forma más potente y con mayor duración, desde entonces su utilización se incrementó de forma notable (Fernández Palacios et al., 2014).

La recolección de hipófisis se realiza desde peces sexualmente maduros, tanto machos como hembras, hallándose que las glándulas colectadas durante el periodo de puesta son más efectivas en inducir la ovulación, lo que demuestra la acumulación de GtH (principalmente LH) en la hipófisis antes y durante la estación de desoves. A pesar de estas condiciones señala (Valdebenito, I. 2008), que esta técnica está asociada con varias desventajas, una gran variación en el contenido de LH de la pituitaria. La administración de hormonas adicionales presentes en la pituitaria que pueden afectar adversamente la fisiología de los peces tratados y la potencial transmisión de enfermedades desde el pez donante al receptor.

El manejo más recomendable sugiere (Valdebenito, 2008) dependerá de la especie que se cultiva y de los recursos con que se cuenta para adquirirla. La tendencia es a masificar el uso de productos análogos por su alta eficiencia, mayor vida útil y la ausencia de respuesta inmune en los peces receptores, lo que conlleva a continuar buscando la reducción de los costos de estos productos y buscar formas de aplicación menos invasivas para el pez ya que en la actualidad, el uso de implantes de GnRHa es una actividad rutinaria a pesar de su alto costo.

5.2.4 Métodos hormonales de reproducción. Usando el extracto de hipófisis de Carpa (EPC) y el método de fertilización en seco se han logrado altos porcentajes de fertilidad. En el estudio realizado por (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) ha tomado hembras de tallas que oscilaron entre 21 y 30 cm, el peso osciló entre 83,4 y 209,9 gr, a estas se les inyectó la hormona EPC y la respuesta a la hormona EPC osciló entre 24 y 28 horas después de la inyección y el peso de los desoves entre 1,4 y 31,4 gr.

Es importante registrar que la actividad de desove de las hembras se obtuvo en un rango entre 24 y 28 horas después de la aplicación de la segunda dosis de hormona; lo cual revela que el tiempo de maduración ovular en esta especie es comparativamente amplio desde el momento en que ocurre la ovulación hasta que las hembras son extruidas; posiblemente por la baja temperatura de mantenimiento durante el periodo de acción de la hormona. (González Acosta & Rosado Puccini, 2005).

El peso promedio de las hembras de Capitán *E. mutisii* evaluadas fue de 152.75 g, con una longitud estándar de 21.75 cm y una longitud total de 24.91 cm.

Los tiempos de respuesta a la inyección con hormona indican que el desove puede ocurrir alrededor de las 24 horas posteriores a la aplicación de la dosis concluyente en las hembras, bajo

las condiciones experimentales utilizadas, en las que la temperatura de sostenimiento fue de 16°C en promedio. El procedimiento en su totalidad desde que se aplica la dosis inicial hasta que se procede con la extrusión tuvo una duración de 36 horas. Este hallazgo es importante para estandarizar el manejo y programación de labores de inducción hormonal de esta especie no determinado en ensayos anteriores.

La fase inicial de desarrollo larvario registrado fue relativamente invariables y una vez el saco vitelino fue totalmente reabsorbido, se procedió a suministrar el alimento a las larvas. Fueron dadas varias alternativas con resultados indistintamente variables en lo relativo a la aceptación. El concentrado para truchas no tuvo respuesta en aceptación, la pasta en micro encapsulado; fue ofrecida dos veces al día y aunque las larvas la aceptan bastante bien, tiene como desventaja el rápido deterioro en la calidad del agua que produce la fracción no consumida, de tal forma que cuando se utilizó esta alternativa fue necesario incrementar la intensidad de los recambios. Se considera, no obstante, que las observaciones tienen aún un nivel de aproximación que únicamente evidencia una posibilidad alimenticia para los primeros estadios; la realidad nutricional de estos tipos de alimento para la especie no es concluyente y el diseño de proyectos experimentales para definir los requerimientos en estas primeras fases es necesaria para garantizar resultados satisfactorios en producciones de mayor escala (González Acosta & Rosado Puccini, 2005).

También fue utilizado por (Benavides et al, 2007) el extracto pituitario de carpa (EPC) en dosis 7 mg/kg y de la misma forma la Gonadotropina Coriónica Humana (HCG), aplicada en dosis 8 UI/g y simultáneamente se utilizó la EPC y HCG en dos dosis de 1.4 mg/kg y 6.4 UI/g respectivamente con 12 horas de aplicaciones, evidenciando que se estimulan la ovoposición en

cautiverio de hembras sexualmente maduras, siendo una acción positiva de hormona EPC sobre el proceso final de maduración sexual.

Por su parte (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) solo utilizo la hormona EPC en la reproducción inducida del Capitán de la Sabana, consiguiendo una respuesta positiva, con desoves viables en una dosis total de 5,5 mg/kg, concluyendo que en los machos una sola dosis es suficiente, aplicada 12 horas antes de la proyección de la extrusión para las hembras. El manejo en seco de la fertilización y la hidratación unos 10 minutos después de la mezcla de los gametos mostraron ser eficientes en el proceso de manipulación inicial del material obtenido por inducción.

El desove observado también fue exitoso para capturas de *E. mutisii* originarios del embalse del Neusa. Las tallas de madurez sexual tuvieron concordancia con los reportes de (Cala, 1986) (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) para machos y hembras de la especie.

La utilización de Extracto Pituitario de Carpa (EPC) en dosis 7 mg/kg como también de Gonadotropina Coriónica Humana (HCG), aplicada en dosis 8 UI/g y la utilización simultánea de EPC y HCG en dos dosis de 1.4 mg/kg y 6.4 UI/g respectivamente con 12 horas de diferencia entre aplicaciones, estimulan la ovoposición en cautiverio de hembras sexualmente maduras de *E. mutisii* según lo evidencia (Benavides et al., 2007). El proceso de eclosión ocurrió a los 896 grados/hora (64 horas a un promedio de 14°C). Las larvas recién eclosionadas midieron entre 2.0 y 2.5 mm de longitud total.

La acción hormonal que encontró (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) sobre los machos también genera respuesta viable, representada está en la cantidad y aspecto del espermatozoide alcanzado cuando se emplea la dosis 12 horas antes de ser programada la revisión de las

hembras. Encontrando elevados porcentajes de fertilización observados confirman que tanto la dosis como el tiempo de acción de la hormona tienen completa eficacia. Similarmente, la inducción de machos de *E. mutisii* con una dosis única de 1UI/g de gonadotropina coriónica humana HCG, incrementa la expulsión de fluido seminal bajo condiciones de cautiverio de acuerdo a (Benavides et al., 2007).

Desde el momento de la fertilización describe (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) hasta que se completó la eclosión transcurrieron entre 5,5 y 6 días, a temperatura promedio de 16°C, este lapso indica que los estadios más delicados de formación embrionaria y principalmente gastrulación avanzan con relativa lentitud, lo cual exhibe el material a pérdidas significativas cuando los escenarios no son los ideales; la manipulación constante requiere una adecuada limpieza y los mecanismos necesarios para recambios en las dietas alimenticias.

Concluyeron (González Acosta & Rosado Puccini, 2005) que el uso de la hormona EPC en la reproducción inducida del Capitán de la sabana ofrece respuesta positiva, con desoves viables en una dosis total de 5,5 mg/kg. La división en dosis preparatoria del 10% y definitiva del 90% es un esquema sólido que permite la extrusión de las hembras. En los machos una sola dosis es suficiente, aplicada 12 horas antes de la proyección de la extrusión para las hembras. El manejo en seco de la fertilización y promover la hidratación unos 10 minutos después de la mezcla de los gametos mostraron ser eficientes en el proceso de manipulación inicial del material obtenido por inducción. Los ovocitos poseen una capa gelatinosa envolvente similar en sus características a la presente en especies de silúridos, los ovocitos requieren de este mecanismo de protección contra las bacterias y los fuertes movimientos en el agua.

Por otro parte, (Benavides et al., 2007) destaca que el *E. mutisii* inducido hormonalmente con EPC, HCG y EPC + HCG, con una temperatura promedio de 14° C, desova en un periodo de entre 15 a 17 horas después de la segunda dosis; y la eclosión ocurre de 800 a 900 grados por hora. La aplicación de 7mg/kg de EPC registró los mejores efectos con relación al tiempo de desove, sin embargo, el tipo de hormona no influyo en el número de ovocitos ni en el porcentaje de fertilización y de eclosión. De igual forma el peso de las hembras influyó en el número de ovocitos producidos. El promedio del tiempo de incubación de las ovas de *E. mutisii* a una temperatura de 14° C fue de 800 a 900 grados por hora.

6 Discusión

En la década de los 30, 40 y 60 era posible encontrar ejemplares de *E. mutisii*, a lo largo de la cuenca media y alta del río Bogotá, pero en la actualidad, es muy escasa la población en cuerpos de aguas naturales. El Capitán de la Sabana subsiste en condiciones favorables, en el embalse del Neusa, cuyos ejemplares son sanos, debido a que este cuerpo de agua artificial es protegido ampliamente por la CAR, por lo tanto, no se registran vertimientos de ningún tipo de contaminante, lo que lo hace apetecido para el consumo proteico de los pobladores aledaños. En la laguna de Fúquene también lo encontramos, pero se ve ampliamente amenazado porque este cuerpo de agua natural reporta un decrecimiento en su espejo de agua, mientras que en otros cuerpos de agua como el lago de Tota y laguna de la Cocha existe por haber sido trasplantados allí y en términos generales no se conoce la biomasa del pez, debido a que no es monitoreado con frecuencia.

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN (2004) ubica al pez dentro de la categoría DD, es decir con déficit de información. (Rosado et al., 2007) indican que, aunque existen varios trabajos la calidad de información es baja. No hay monitoreos que permitan calcular la abundancia del pez, los informes sobre presencia del pez se refieren a observaciones hechas por los pobladores, si tener una cifra aproximada de la biomasa del pez. En otros tramos de la cuenca alta del río Bogotá es posible encontrar a la especie entre Suesca y Chocontá, debido a que la calidad del agua es aceptable para la especie.

La especie *Eremophilus mutisii* es resiliente a descensos violentos en los parámetros fisicoquímicos del agua como el oxígeno disuelto, ya que posee la facultad de utilizar el

estómago como órgano accesorio de respiración aérea en condiciones anóxicas o de baja concentración de oxígeno, (Maldonado Ocampo et al., 2005). Esta particularidad de la especie hace que se adapte a condiciones adversas.

Los metales pesados influyen en el *E. mutisii* especialmente en el hígado. El hígado es el órgano más grande fuera del canal alimenticio en los peces al igual que en otros vertebrados. El hígado en los peces sirve para funciones similares a aquellas que realiza en los mamíferos. Sus funciones incluyen asimilación de nutrientes, producción de bilis, detoxificación, mantenimiento del homeostasis metabólica del cuerpo que incluye procesamiento de carbohidratos, proteínas, lípidos y vitaminas. El hígado también juega un papel importante en la síntesis de las proteínas del plasma como las albúminas, fibrinógeno y factores del complemento. (Paredes & Alvarez, 2013). Por tanto, esta afectación en este órgano vital, altera el metabolismo del pez y sus hábitos comportamentales y reproductivos. Lo que se manifiesta en una baja tasa de reproducción en aguas contaminadas.

En cuanto a su adaptación a los cuerpos de agua artificiales o lagunares, el *Eremophilus mutisii* se ha adaptado a los ecosistemas lénticos exitosamente en Neusa y Tota, sin embargo, esta alternativa de introducir la especie en estos ecosistemas no es la adecuada, la especie es de preferencia de ambientes lóticos, los ambientes lénticos le generan problemas para su adaptación. Es una especie territorial y no tiene las mismas habilidades adaptativas como la Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) a los ecosistemas lénticos.

La competencia por hábitat y alimento es motivo de dudas. La Trucha Arcoíris a quien se le atribuye principalmente como competidora y depredadora del *E. mutisii* existe en la región Cundiboyacense en embalses y criaderos, en el Neusa se sabe que la especie se desplaza en la

superficie alta del embalse, para el caso del Capitán, quien le gusta vivir y desplazarse para conseguir alimentos en el fondo lodoso y solamente sube a la superficie para desovar, de tal forma, que aunque por algunos biólogos se considera la trucha como depredadora, esto no se puede afirmar porque no hay pruebas suficientes ni un consenso al respecto.

Los datos de (Pinilla et al., 2006) sugieren que no hay disponibilidad abundante de alimentos en los cuerpos lénticos. Además, *E. mutisii* exhibe cierta selectividad para especies particulares; Esta preferencia disminuye la cantidad de alimento disponible para el pez y puede explicar el aumento de la competencia interespecífica por alimento a medida que aumenta la densidad de población del cultivo. También es necesario incluir dentro de los muestreos una cantidad mayor de especies de hábitos bentónicos y estudios de sedimentos que permitan tener un mayor conocimiento de la dinámica de estas sustancias en los cuerpos de agua y realizar estudios que determinen como afecta los procesos reproductivos la exposición a estas sustancias, ya que puede perjudicar en una disminución en el número de puestas y de huevos por puesta de muchas especies.

Aparentemente la competencia por el espacio es otro fenómeno importante que influye en el desarrollo de *E. mutisii* en este tipo de reservorio. Se sabe que esta especie es muy territorial y que requiere que los peces eviten la competencia por el espacio. El *Eremophilus mutisii* es selectivo y exigente con los alimentos de su dieta; esta preferencia disminuye la cantidad de alimentos disponibles para el pez y puede explicar el aumento de la competencia interespecífica que es la interacción de individuos de diferentes especies por los alimentos. A medida que aumenta la densidad de población, de especies introducidas, disminuye la oferta de alimentos para el *E. mutisii*.

En cuanto al impacto por el uso indiscriminado de la especie se recomienda respetar la Talla Mínima de Captura (TMC), que consiste en determinar la edad a partir de la primera madurez sexual para algunos peces en riesgo y que coincide con la longitud en centímetros desde la boca hasta el pedúnculo caudal; es decir, es una talla que asegura que los peces capturados se han reproducido al menos una vez, por ejemplo, para el bocachico del Magdalena (*Prochilodus magdalenae*) se estima en 20 cm. Los estudios histomorfológicos y ciclo anual espermatogénico de los testes, muestra que ningún individuo de *Eremophilus mutisii* se reproduce por primera vez con una longitud total menor de 14 cm, lo cual significa que ningún ejemplar con talla inferior a los 14 cm, ha alcanzado su madurez sexual y por tanto no debe capturarse (Cala, 1986).

Regionalmente conserva un interés comercial, en tanto la población rural de los alrededores de embalses, lagos y lagunas continúa con actividades de pesca tradicional y el producto se mercadea de forma habitual en las áreas cercanas a su distribución natural. Aún con un consumo que ciertamente es localizado, se tienen registros que indican que, solamente considerando el sistema de la laguna de Fúquene (Cundinamarca), las capturas de Capitán permiten calcular para la zona un consumo medio de 3.5 kg persona/año (Prieto & Landines, 2015).

Con respecto a las estrategias de conservación, es importante recalcar que los estudios recientes con respecto a la cría del *Eremophilus mutisii* en cautiverio son precoces, y aun no están claro los procedimientos de liberación en zonas donde la especie es endémica, y los estudios se han limitado a encontrar formas viables de reproducción inducida con hormonas mas no de manera natural. Aunque los estudios son positivos no son concluyentes.

Los índices de fertilidad, la incidencia y frecuencia de enfermedades, están determinadas por la respuesta de los organismos al síndrome general de adaptación estrés. Los efectos indirectos de agente causal de estrés, pueden considerarse como modificaciones de actividades conductuales tales como la alimentación, reproducción y la capacidad de competencia.

Para el Capitán de la Sabana la acuicultura sobre levante de larvas y primeros estadios de los alevinos establecen actualmente una prioridad investigativa. Son escasos en cantidad y profundidad proyectos sobre áreas relacionadas con ictiopatología, nutrición y reproducción, dirigidos a validar las posibilidades reales de su cultivo y a mejorar los estándares de manejo de la especie en cautiverio.

También es importante considerar que antes de una repoblación se debe garantizar un compromiso social para cuidar los recursos naturales. Para lograr una exitosa repoblación del *Eremophilus mutisii*, se deben conocer las condiciones medioambientales del cuerpo de agua donde la especie se va a sembrar, entre ellas la cadena trófica, la biología y la capacidad de carga que puede soportar el sistema; se necesita obtener una completa información sobre el cuerpo de agua de interés para garantizar su conservación y uso sostenible, y tomar las medidas necesarias para la conservación y la preservación del ecosistema acuático y de los especímenes para las faenas de repoblación.

El Capitán de la Sabana (*Eremophilus mutisii*) requiere esfuerzos en la investigación en cuanto a su real potencial piscícola considerada prioritaria para salvaguardar la especie de la extinción, dado su estatus de vulnerabilidad de especie amenazada. Se precisa disponer de medios técnicos que permitan obtener conocimiento suficiente para el desarrollo de procedimientos para fortalecer una producción de alevinos constante en condiciones controladas,

así, las técnicas reproductivas deben enfocarse a disminuir las patologías asociadas al cautiverio, tener un estándar técnico para la reproducción , el aprovechamiento económico y la futura repoblación de la especie en su hábitat natural.es de importancia comercial en las pesquerías y en la economía campesina, particularmente en zonas frías con aguas deficitarias tanto en cantidad como en calidad.

7 Propuesta de Conservación de la Especie

Como medida de conservación de la especie *Eremophilus mutisii*, se propone en primer lugar, un control más riguroso sobre los vertimientos que se hacen a los cuerpos de agua donde la especie habita, es fundamental que las autoridades ambientales estén controlando y vigilando los vertimientos que se originan principalmente por agricultores y pequeñas industrias que no tienen un manejo adecuado de las aguas industriales, se deben crear zonas de protección en la parte alta de la cuenca del río Bogotá donde aún la especie subsiste, e impedir por parte de las autoridades ambientales que existan vertimientos de aguas industriales a estos cauces. Es así como (Valderrama, 2007) propone definir áreas de manejo prioritario en sitio para la especie, por ejemplo, la laguna de Fúquene.

La insostenibilidad ambiental ocurre, cuando se sobrepasa los límites impuestos por la naturaleza, tiene su origen en los patrones de producción y de desarrollo de los asentamientos humanos. Es así que, desde el enfoque de la ingeniería ambiental para conservar el pez, es importante controlar los vertimientos de aguas negras e industriales que se hacen desde la cuenca alta y que sobrepasan la resiliencia de la cuenca. Se debe proceder a realizar una correcta gestión ambiental dentro de las empresas y población en general, mediante programas de educación ambiental que concienticen la importancia de preservar las riquezas naturales del territorio.

Las corporaciones autónomas en compañía de las autoridades municipales deben proceder a cumplir sus normas ambientales. Es sabido que no existe un control de vertimientos a las aguas de la cuenca del río Bogotá por una parte importante de las industrias y también por vertimientos

de aguas residuales domesticas ilegales. Es así que la inspección y vigilancia es primordial para proteger los cuerpos de agua donde habita el pez.

Una vez identificado las fuentes de contaminación se debe obligar a las empresas a instalar plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTAR, s).

Cuando las descargas de las aguas residuales se realicen en un cuerpo de agua, se debe proceder a realizar la sustracción del valor de la carga contaminante de acuerdo a los parámetros establecidos en la Resolución No. 0631 de 2015 en sus artículos 8 y 9, o aplicar la disposición legal que corresponda de acuerdo a su actividad comercial.

Propongo para esto capacitar a las empresas y asesorar al respecto de la mejor opción tecnológica para el tratamiento de sus aguas. En términos generales, se pueden utilizar plantas automatizadas que consten de un estabilizador de pH, un tanque sedimentador, o un equipo para deshidratar los lodos. Esto depende de cada caso en particular.

De manera complementaria se pueden incorporar sistemas de depuración tecnológicamente sencillos de instalar como son un sistema de flotación de partículas por aire inducido por cavitación (CAF). Con el equipo correcto, los valores de sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable (DBO) y no biodegradable (DQO) se puede lograr resultados exitosos y que las empresas sean amigables con el medio ambiente.

También es importante, buscar la conectividad genética de la especie, ya que se evidencia que la especie esta enclaustrada en su mayoría en el lago de Tota, laguna de Fúquene y el embalse del Neusa donde está la mayor abundancia del pez. Se puede buscar el trasplante de alevinos entre cuerpos de agua, así como en los tramos de la cuenca del río Bogotá donde se describe la existencia del pez. La reducción de la variación genética dentro de la especie, es un

enfoque de estudio para las próximas investigaciones que se deben realizar, ya que a la fecha los estudios sobre esta materia son nulos, y desde luego es sabido que al no existir un intercambio genético, la especie es propensa a enfermedades y a la capacidad de reproducción, la variación y la herencia en genotipo y fenotipo, así que es preciso buscar las conexiones naturales entre los cuerpos de agua, como la medida ideal, pero de manera más rápida buscar el trasplante de alevinos y adultos entre cuerpos de agua (Bastidas & Lemus, 2014) (Bohórquez et al., 2012) (Jiménez & Pinto, 2005).

La pérdida de variación genética en las poblaciones naturales como consecuencia de la disminución del tamaño de la población, podría dar como resultado una capacidad reducida para el cambio adaptativo y la evolución futura. La estimación del tamaño genéticamente efectivo de las poblaciones naturales se ha vuelto cada vez más común en los campos de la conservación y la genética evolutiva (Ryman, 2014). Por lo tanto, también se deben enfatizar en estudios en este campo con relación a las consecuencias posibles, al verse el *E. mutisii* enclaustrado en cuerpos de agua sin conectividad entre sí.

En Colombia, las granjas piscícolas deben enfatizar sus esfuerzos económicos y humanos hacia la producción y la transferencia de tecnología; la reproducción y el manejo de peces nativos de alta variabilidad genética y mínimos coeficientes de consanguinidad de tal forma que sean empleados en programas de repoblación, es prioritario ejecutar proyectos, hacia un corto y mediano plazo, encaminados a la repoblación y mejoramiento piscícola; cualquier acción deberá iniciarse caracterizando genéticamente tanto las poblaciones receptoras como las poblaciones de origen (González Acosta J., 2014).

Las poblaciones de *E. mutisii* en condiciones naturales no estarían aisladas, es decir, estarían conectadas con las vecinas a través de la migración. Se propone también buscar las formas adecuadas de buscar la conectividad entre los cuerpos de agua que han sido afectados por la intervención antrópica.

El desarrollo en cautiverio de alevinos se debe seguir promoviendo para desarrollar una técnica viable para implementar un protocolo de reproducción de la especie, los avances que se prevén son promisorios, una vez se obtengan se deben instalar laboratorios de repoblamiento de la especie en puntos estratégicos, haciendo uso de las técnicas de acuicultura. (López Olmeda, et al., 2015) (Valderrama et al., 2007).

Se debe realizar una concientización por parte de las poblaciones ribereñas, para que sean propicios para proteger al Capitán, que entiendan la importancia de cuidar los recursos ambientales, y la importancia de la especie, como parte de arraigo cultural y riqueza biológica de la región. De esta forma se debe dialogar con los habitantes del área de influencia del hábitat del pez Capitán para que se promuevan comités, que desarrollen una actividad de vigías ambientales, articulados con el sector público, que incluyan incentivos y voluntariados. (Bastidas & Lemus, 2014).

Es prioritario realizar monitoreos de la especie, en las zonas donde se presume su existencia, debido a que no existen a la fecha datos que permitan calcular su biomasa, lo que se constituye en un problema, ya que solamente se cuenta con presunciones, como es el caso del humedal Santa María del Lago, donde se cree que a la fecha existe el Capitán, pero no hay un documento técnico que lo sustente. así como realizar investigaciones enfocadas no solo a la reproducción en cautiverio, sino a la reproducción y posterior liberación y siembra de alevinos en

los cuerpos de agua, que previamente deben estar protegidos y adecuados para que haya una liberación exitosa de capitanes.

8 Conclusiones

La principal causa del declive poblacional del *Eremophilus mutisii* se debe a la contaminación extrema por metales pesados en su hábitat, no hay un estudio que demuestre que alguna especie introducida contribuya a su declive poblacional, ni tampoco la sobrepesca del pez.

Los estudios sobre la reproducción en cautiverio del *Eremophilus mutisii*, están en pleno proceso de investigación, y se está trabajando para lograr un protocolo de reproducción en cautiverio de la especie, aun no se tiene un plan de repoblamiento en su hábitat.

Se deben crear zonas de protección prioritaria para el *E. mutisii*, aislándolas de la intervención antrópica y mitigando los impactos ambientales sobre ellas, y así usar estas zonas como punto de partida para realizar las siembras de alevinos para detener el declive de la especie.

9 Referencias

- Abella, J., & Martínez, M. (2012). Contribución de un afluente triubutario a la eutrofización del lago de Tota (Boyacá, Colombia). *Eutrofización del Lago de Tota (Boyacá, Colombia)*. *41(2)*, 243-262.
- Acuerdo 19 de 1994. Concejo de Bogotá. Por el cual se declaran como reservas ambientales naturales los Humedales del Distrito Capital y se dictan otras disposiciones que garanticen su cumplimiento. Bogotá, 8 de diciembre de 1994.
- Agencia de Noticias UN. (15 de Julio de 2015). *The Captain fish will repopulate the Cundinamarca-Boyacá Provinces high plateau water bodies*. Obtenido de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/the-captain-fish-will-repopulate-the-cundinamarca-boyaca-provinces-high-plateau-water-bodies.html>
- Alabaster, J. (2013). *Water quality criteria for freshwater fish* (Vol. 3117). Elsevier.
- Alvarez, R., González, J., & Forero. (2002). *Libro rojo de peces dulceacuicolas en Colombia*.
- Andrade López, J. M. (2006). Factor de condición y distribución de tallas de *Eremophilus mutisii* (siluriformes: Trichomycteridae) en el río Cormechoque y el embalse La Copa, Boyacá. *Dahlia*, *9*, 13-20.
- Baptiste, M. P., Cataño, N., Cárdenas, D., Gutiérrez, F., Gil, D., & Lasso, C. (2010). *Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia*. Bogotá: HUMBOLDT.

- Bastidas, J., & Lemus, C. (2014). *Aporte al conocimiento de la biología y ecología del pez Capitán de la Sabana (Eremophilus mutisii). Humboldt 1805. (Pisces: Trichomycteridae) en el altiplano Cundiboyacense*. Departamento de Comunicación y Publicaciones.
- Benavides, J., Martínez, M., & López, J. N. (2007). Evaluación de la Gonadotropina Coriónica Humana (HCG) y el Extracto Pituitario de Carpa (EPC) en la bibliografía 76- 77 reproducción inducida del Capitán *Eremophilus mutisii* Humboldt, 1805 en condiciones de cautiverio. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 2, 235-244.
- Blog el Espectador. (13 de 06 de 2017). *Sibaté: ¿Qué pasó con la comunidad a la que Colombia le debe la decisión de recuperar el río Bogotá?* . Obtenido de <http://blogs.elespectador.com/actualidad/el-rio/sibate-que-paso-con-la-comunidad-a-la-que-el-pais-le-debe-la-decision-de-recuperar-el-rio-bogota>
- Bohórquez, P., Hurtado, H., Jiménez, J., López, R., & Pinto, G. (2012). *Aspectos reproductivos del “capitán de la sabana”, Eremophilus mutisii (Humboldt, 1805) (siluriformes: Trichomycteridae), de un tramo del río Bogotá en el municipio de Suesca (Cundinamarca)*.
- Bonilla Lizarazo, R. J., Quintero Virguez, M., Gomez Ramírez, E., Rodríguez Caicedo, D., & Hurtado Giraldo, H. (2008). Histología y morfometría de piel del pez *Eremophilus mutisii* (*Trychomecterae, Siluriformes*). *Revista de Biología Tropical*, 56(2), 885-893.
- Cala, P. (1986). Cambios histomorfológicos en el ovario del pez capitán, *Eremophilus mutisii* Humboldt 1805 (Pisces: *Trichomycteridae*), durante el ciclo reproductivo anual, en la laguna del Muña, sistema río Bogotá, Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 1, 9-30.

Campos, A. (13 de 06 de 2017). *Williambarraganz.blogspot.com.co*. Obtenido de

<http://williambarraganz.blogspot.com.co/2010/07/fjweiofjewoi.html>

Castillo, I. M., & Rodríguez, M. A. (2017). *Dinámica multitemporal de las coberturas y el*

espejo de agua en la laguna de Fúquene. Mutis.

CONPES. (2014). Manejo Ambiental Integral de la Cuenca Hidrografica del lago de

Tota, Documento 3801.

Córdova Carmen, J. (2015). *Diseño de embalse teniendo en consideración los impactos*

ambientales. Piura.

Crespo , A. D. (2014). Diagnóstico de la población de trucha (*Oncorhynchus Mykiss*) en la

microcuenca del río Matadero, Parque Nacional El Cajas, Azuay-Ecuador.

Decreto 1681 de 1978. Artículo 133. Código de Recursos Naturales Colombia. Reglamentación en

Materia de Recursos Hidrobiológicos. 4 de agosto de 1978.

Decreto 619 de 2000. Alcalde Mayor. Por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial

para Santa Fe de Bogotá, Distrito Capital. Bogotá Julio 28 de 2000.

Díaz Lozano, Y., & Pinilla Rivera, M. (2013). Metodología integral para la valoración social y

económica del humedal Santa María del Lago. *Journal Technology*, 12(1), 45-54.

Díaz Zerrate, C. A., & Otlvaro Barco, J. J. (2014). *Determinación del almacenamiento de agua*

subterránea presente en los acuíferos de la cuenca del Río Neusa, Cundinamarca,

mediante el análisis de información hidrológica e hidrogeológica (Bachelor's thesis).

Eremophilus mutisii Humboldt 1805 (pisces: Tric.

- Donascimento, C. (01 de 09 de 2017). *Humboldt.org.co*. Obtenido de El “capitán de la sabana”, 210 años desde su descubrimiento: <http://www.citethisforme.com/es/cite/website/autocite>
- El Sol. (2 de marzo de 2017). *El Sol*. Obtenido de <https://elsolweb.tv/en-riesgo-el-lago-de-tota-el-mas-grande-de-colombia-ubicado-en-boyaca/>
- Espitia Contreras, J. P. (2010). *Análisis de la aplicación del enfoque ecosistémico en la estrategia de manejo ambiental de la cuenca Ubaté-Suárez implementada en la laguna de Fúquene durante el período 2007-2009*.
- Experiencia Colombia. (13 de 06 de 2017). *Experienciacolombia.com*. Obtenido de Laguna de la Cocha:
[http://www.experienciacolombia.com/destino.php?Colombia=Pasto\(Narino\)&Laguna-de-la-Cocha&destino=48](http://www.experienciacolombia.com/destino.php?Colombia=Pasto(Narino)&Laguna-de-la-Cocha&destino=48)
- Fernández-Palacios, H., La Barbera, A., Hernández, C., Schuchardt, D., Roo, J., Izquierdo, M., & Sarih, S. (2014). Obtención de puestas del pez de limón ("*Seriola dumerili*") mediante inducciones con GnRH α , aplicada con inyección e implante. Calidad de las puestas obtenidas. *Diversificación*, 424-425.
- Flórez, F., & Sarmiento, N. (1989). Observaciones ecológicas sobre el pez Capitán *Eremophilus mtisii* Humboldt 1805(Pisces:Trichomycteridae) en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá *Acta Biológica Colombiana. Acta Biológica Colombiana*, 1(5), 113-114.
- Fuchs, D., Fernandez, L., Nadalin, D., & Lopez, H. (2013). Lista de los peces de la provincia de La Rioja. *ProBiota: Serie Técnica y Didáctica*(18), 1-9.

- González Acosta, J. (2014). Zoocría y piscicultura en Colombia, ¿dudosas herramientas para la conservación de especies? *Ciencia Animal*, 7, 155-164.
- González Acosta, J. A., & Rosado Puccini, R. (2005). Reproducción inducida con hormonas en *Eremophilus mutisii* Humboldt, 1805 (Pisces: Trichomycteridae) en Guasca, Cundinamarca, Colombia. *Revista de Investigación Bogotá*, 5(2), 233-240.
- González, & Rosado. (2010). Estado del Conocimiento sobre peces nativos del antiplano Cuniboyacense. *Cien Anim*, 69-79.
- González, J., Rodríguez, & Suarez, R. (2009). Accumulation of Lead, Chromium, and Cadmium in Muscle of capitán (*Eremophilus mutisii*), a Catfish from the Bogotá River Basin. *Eviron Contam*, 57, 359-365.
- Gonzalez, M., Landines, M., Borbón, J., Correal, M., Sánchez, C., & Rodríguez, L. (2014). Evaluación de algunos marcadores de exposición a contaminantes en tres especies de bagres colombianos (Pisces: Siluriformes). Construyendo una estrategia en biodiversidad desde la industria petrolera: aportes a la conservación. *Biota Colombiana*, 15(1), 40-51.
- González, O. E. (2002). *Criopreservación de semen de Capitán de la Sabana (Eremophilus mutisii) de la laguna de Fúquene*. Bogota: Centro de Investigaciones científicas Jorge Tadeo Lozano.
- Grattz, R. (2012). Problemática Ambiental en la Represa De Prado-Tolima. *Ingenio*, 82-85.
- Guerrero García, P. (2014). Dos siglos de desecación en Laguna de Fúquene (Colombia): Impactos en la pesca artesanal. 4(4), 47-58.

- Guiza Suárez, L., Londoño Toro, B., & Rodríguez Barajas, C. D. (2015). La judicialización de los conflictos ambientales: un estudio del caso de la cuenca hidrográfica del río Bogotá (CHRB), Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 31(2).
- Gutiérrez-Bonilla, F. de P. (2006). Estado de conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos. Bogotá, D.C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. 156 p
- Gutiérrez, F. (2005). Distribución de las especies hidrobiológicas continentales introducidas y/o trasladadas en Colombia. Caso de Estudio: Biología y ecología de *Oreochromis niloticus* en la cuenca hidrográfica del río Sinú.
- Habit, E., González, J., Ortiz Sandoval, J., Elgueta, A., & Sobenes, C. (2015). Efectos de la invasión de salmónidos en ríos y lagos de Chile. *Ecosistemas*, 24(1), 43-51.
- Jeppesen, E., Brucet, S., Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Nøges, T., . . . Beklioglu, M. (2015). Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. *Hydrobiologia*, 750(1), 201-227.
- Jiménez, Y., & Pinto, G. (2005). *Aspectos biológicos del capitán de la sabana (Eremophilus mutisii) (Pisces) en un tramo del Río Bogotá en el municipio de Suesca (Cundinamarca), Colombia.*
- Junca Rodríguez, V. M. (2008). Acercamiento a la ecología de comunidades. *Fundación Neotrópico Vivo*, 1-19.

- Ladino Vigoya , C. F., Marín Abadía, J. C., & Vargas , T. A. (2016). Estado del arte y principales amenazas de las áreas establecidas como parques ecológicos distritales de humedal en bogotá dc. *Boletín Semillas Ambientales*, 10(2), 84-91.
- Lara, C., Garzón, B., & Del Castillo, B. (1985). *Cultivo experimental del Capitán de la Sabana Eremophilus mutisii Humboldt 1805*. Bogotá: Inderena Colciencias.
- López, & Mandroñero. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: *ciencia e ingeniería neogranadina*, 21-42.
- López-Olmeda, J. F., Vera, L. M., & Sánchez-Vázquez, F. J. (2015). Cronobiología de peces y sus aplicaciones en acuicultura. *Eubacteria*(33), 67-72.
- Lozano, Y., & Rivera, M. (2015). Metodología integral para la valoración social y económica del humedal Santa María del Lago. *Revista de Tecnología*, 12(1), 45-54.
- Maldonado-Ocampo , J., Ortega-Lara , A., Usma Oviedo , J. S., Galvis Vergara , G., Villa-Navarro , F. A., Vásquez Gamboa , L., Ardila Rodríguez, C. (2005). *Peces de los Andes de Colombia*. Bogotá: Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Mattalloni, M., De Giovanni, L., & Virgolini, M. (2014). ¿Algo de plomo es demasiado plomo para los organismos en desarrollo? (¿Is a trace of lead too much lead for developing organisms?). *Bitácora Digital*, 11-14.
- Mayorga, M. (1992). Biología reproductiva y alimentación de las poblaciones de capitán de la sabana *Eremophilus mutisii* en la laguna de Fúquene. Bogotá: Universiad Jorge Tadeo Lozano.

- Merino, M., Bonilla, S., & Bages, F. (2013). Diagnóstico del estado de la acuicultura en Colombia. Plan Nacional de Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia AUNAP-FAO. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Mojica, A., & Guerrero, J. (2013). Evaluación del movimiento de plaguicidas hacia la cuenca del Lago de Tota, Colombia. *Revista Colombiana de*, 42(2), 29-38.
- Mojica, J. (2012). *Libro Rojo de peces dulceacuícolas de Colombia*. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.
- Molina Villalba, I. (2015). Análisis de arsénico y metales pesados (cadmio, manganeso, mercurio y plomo) en orina y cabello de población infantil residente en huelva. Granada: Universidad de Granada.
- Moncaleano Niño, A. M., & Calvachi Zambrano, B. A. (2009). Uso de la fauna silvestre del Lago de Tota. Peces, perpetuos, aves y mamíferos. *Ambiente y Desarrollo*, 8(25), 81-99.
- Monroy López, M. (2014). Principales impactos antrópicos y sus efectos sobre la comunidad de peces del lago Titicaca. Universitat de Barcelona.
- Mora, G., Téllez, L. S., Cala, P., & Guillot, G. (1992). Estudio bioecológico de la ictiofauna del lago de Tota (Boyacá-Colombia), con énfasis en la trucha arco iris. *Academ Colombia*, 18(70), 409-442.
- Moreno Silva , C. (2014). *Informe final de ejecución del diagnóstico preliminar y de la formulación de una solución de tratamiento de aguas residuales para pequeños talleres artesanales de cuero en el municipio de Villapinzón*. Bogotá: Fluvia – Hydrocloro Technologies SAS.

- Mosquera Guerra, F., Trujillo, F., Caicedo Herrera, D., & Martínez Callejas, S. (2015). Indicios de biomagnificación de Mercurio total (Hg) en las especies del género *Inia* (Cetartiodactyla: Iniidae) en los ríos Amazonas y Orinoco (Colombia). *Momentos de Ciencia*, 12(2), 88-92.
- Murcia Delgado. (2013). Estrategias para la mejora de los sistemas de gestión ambiental en la industria de las curtiembres en el municipio Villapinzón Cundinamarca.
- Olaya Nieto, C., Ubarnes Coronado, G., & Ensuncho Morales, J. (2014). Crecimiento y mortalidad de Mojarra Amarilla caquetaia kraussii En la Ciénaga Grande de Lórica, Colombia. *Logos Ciencia y Tecnología*, 5(2), 202-2012.
- Ordoñez, L., González, R., & Cardona, C. (2017). Conectividad entre los humedales Santa María del Lago, Córdoba, Juan Amarillo y los demás elementos de la estructura ecológica principal en la cuenca urbana del río Salitre, Bogotá DC. *Revista Topografía*, 7(1), 52-59.
- Ortega, H., Guerra, H., & Ramírez, R. (2007). *The introduction of nonnative fishes into freshwater systems of Perú*. Ecological and genetic implications of aquaculture activities.
- Ortegon-Torres, L., Ordoñez-Osorio, K., Henao-Murillo, B., Guio-Duque, A., & Pelaez-Jaramillo, C. (2014). Efectos genotóxicos de los contaminantes ambientales, en peces de importancia comercial del río Magdalena, en el departamento del Tolima. *Tumbaga*, 1(9), 21-53.
- Osorio García, S., Hernández Florez, L., Sarmiento, R., González Álvarez, Y., Perez Castiblanco, D., Barbosa Devia, M., . . . Patiño Reyes, N. (2014). Prevalencia de

- mercurio y plomo en población general de Bogotá 2012/2013. *Salud Pública*, 16(4), 621-628.
- Paredes, D., & Alvarez, C. (2013). Histopatología De Las Branquias, Riñones e Hígado de Pacotana (*Colossoma macropomum piaractus brachypomus*) Cultivada A Diferentes Densidades En sistemas de Producción intensiva. *Investigación y Amazonia*, 3(2), 77-83.
- Pedraza, E., Herrera, F., Díaz, D., Gaona, P., Montenegro, C., & Castro, M. (2016). Variables más influyentes en la calidad del agua del río Bogotá mediante análisis de datos. *Logos ciencia y Tecnología*, 7(2), 32-39.
- Pedroza Ramos, A., Caraballo, P., & Aranguren Riaño, N. (2016). Estructura trófica de los invertebrados acuáticos asociados a Egeria densa (Planch. 1849) en el lago de Tota (Boyacá-Colombia). *Intropica*, 11, 21-34.
- Piedrahita, J., & Ruiz, H. (1994). Estimación de algunos aspectos biológicos de la comunidad íctica de la laguna de Suesca (Cundinamarca). Trabajo de grado para optar al título de Biólogo Marino. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Pineda Rodríguez Celio. (01 de 08 de 2015). *Capitán de la Sabana* (Archivo de video)
Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=cEDhxDIavg0>
- Pinilla, G., Abril, M., & González, E. (2006). Growth, feeding and reproduction of the catfish *Eremophilus mutisii* (Pisces: Trichomycteridae), from artificial reservoirs in Colombia. *Biologia Tropical*, 54(2), 589-597.
- Prieto, & Landines, M. (2015). Reproducción y potencial productivo del capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*). *Revista Colombiana de Zootecnia*, 1(1), 15-20.

Rauw, W. M., García Cortes, L. A., Larrán, A. M., Fernández, J., Pinedo, J., M, V., & Gómez Raya, L. (2015). Resultados preliminares de respuesta en un test de campo abierto en peces a alta y baja densidad. *AIDA*, 87-89.

Resolución 848 de 2008. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Por la cual se declaran unas especies exóticas como invasoras y se señalan las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado y se adoptan otras determinaciones. 29 de mayo de 2008.

Resolución 0631 de 2015. Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. 17 de marzo de 2015.

Restrepo-Santamaria, D., & Alvarez Leon, R. (2013). Algunos aspectos sobre la introducción de especies, y estado del conocimiento sobre los peces introducidos en el Departamento de Caldas, Colombia. *Luna Azul*. 37, 268-281.

Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.

Rincón Sánchez, A. R., Juárez, F. J., & Martínez, R. R. (2009). Toxicología ambiental Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Rivera Rondón, C. A., & Prada Pedreros, S. (2008). Effects of aquatic vegetation on the spatial distribution of *Grundulus bogotensis*, Humboldt 1821 (characiformes: *characidae*) Efecto de la vegetación acuática sobre la distribución espacial de *Grundulus bogotensis*, Humboldt 1821 (Characiformes: Characidae). *Caldasia*, 30(1), 135-150.

- Rodríguez, A. (1991). *Evaluación de los cambios patológicos originados durante el cultivo experimental del Capitán de la Sabana (Eremophilus mutisii, Humboldt, 1805) en la Estación Piscícola del Neusa (CAR). Documento Técnico*. Bogotá.
- Rodríguez, A. I. (2015). ¿Qué está pasando con el agua en el Valle de Aburrá (Medellín-Colombia)? *El Agora USB*, 16(1), 305-314.
- Rodríguez, A. J., González, & Suarez, R. (2006). Toxicidad por Metales Pesados en Capitanes de la Sabana provenientes de la Cuenca Alta del Río Bogotá. Bogotá: Fundación Al Verde Vivo.
- Rodríguez, A., Montaña, E., & Rodríguez, J. (2005). Evaluación preliminar de las patologías cutáneas asociadas con la aclimatación en cautiverio del "capitán de la sabana", *Eremophilus mutisii*. *Acta Biológica Colombiana*, 10(2), 123-128.
- Rodríguez Forero, A., González, J. F., & Suárez, R. (2007). Bioacumulación por metales pesados en el capitán de la sabana (*Eremophilus mutisii*), habitante de la cuenca alta del río Bogotá. *Revista Electrónica de Ingeniería en Producción Acuícola*, 2(2), 101-115.
- Rodríguez, H. (1984). Peces exóticos introducidos y establecidos en aguas colombianas. INDERENA. 36. Bogotá.
- Rosado, R., Alvarez, R., González, J., & Suárez, R. (2007). ¿Quién es El Capitán? Rodríguez, A. (Ed.). Fundación al Verde Vivo. Bogotá. 95p.
- Rubiano Rojas, M. (2016). Caracterización de las organizaciones sin ánimo de lucro creadas a partir de la conservación de los humedales de la localidad de Suba (Bachelor's thesis, Universidad Militar Nueva Granada).

- Ryman, N. A. (2014). Samples from subdivided populations yield biased estimates of effective size that overestimate the rate of loss of genetic variation. *Molecular ecology resources*, 14(1), 87-99.
- Salcedo Monsalve, A., Diaz Criollo, S. M., Rodríguez Forero, A., González Mantilla, J. F., & Varona Uribe, M. E. (2012). Exposición a plaguicidas en los habitantes de la ribera del río Bogotá (Suesca) y en el pez Capitán. *Ciencia Salud*, 29-41.
- Salmonexpert. (13 de 06 de 2017). *SalmonExpert*. Obtenido de “Cosecha en reposo” puede minimizar el estrés en truchas arcoiris - SalmonExpert:
<http://www.salmonexpert.cl/noticias/cosecha-en-reposo-puede-minimizar-el-estres-en-truchas-arcoiris/>
- Sanguinetti, J., Buria, L., Malmierca, L., Valenzuela, A., Núñez, C., Pastore, H., . . . Chehébar, C. (2014). Manejo de especies exóticas invasoras en Patagonia, Argentina: Priorización, logros y desafíos de integración entre ciencia y gestión identificados desde la Administración de Parques Nacionales. *Ecología Austral*, 24, 183-192.
- Serrano-Martínez, E., Castro, E., Quispe, M., Casas, G., & León, J. (2014). Aislamiento de bacterias y hongos en tejidos de paiche (*Arapaima gigas*) criados en cautiverio. *Investigaciones Veterinarias del Perú*, 25(1), 117-122.
- Sotomayor, H. A., & Pérez, M. (2001). Un estudio de historia y antropología médica del bocio endémico en la Nueva Granada a propósito de su representación artística en tiempos prehispánicos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25(95), 161-178.

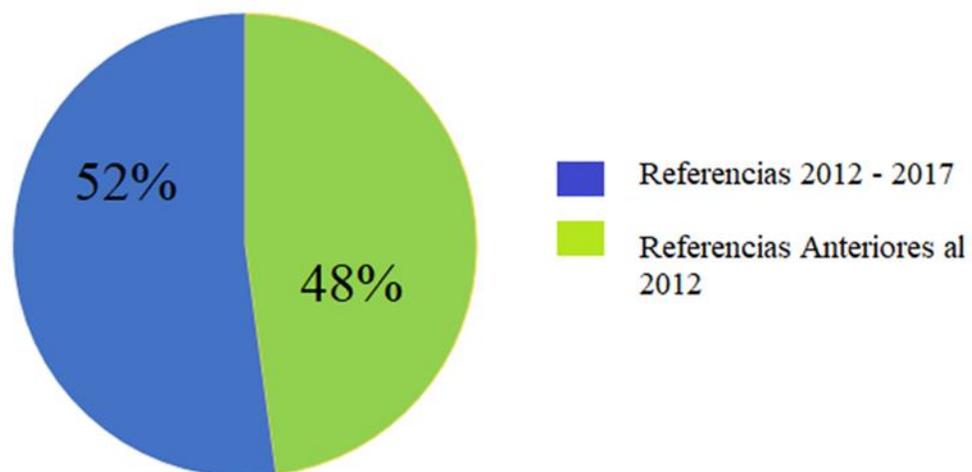
- Talero Martín, G. M., & López Peralta, R. H. (2015). Densidad Larval de Chironomidae (Insecta: Diptera) en un Meandro del Río Bogotá (Cajicá, Colombia) Durante La Niña 2011. *Facultad de Ciencias Básicas*, 11(1), 48-67.
- Toca Torres , C. E. (2011). Impacto ambiental empresarial y fallas de la acción pública: una realidad de las localidades bogotanas. *Argos*, 28(54), 244-269.
- Tovar , M. B., Contreras, L. B., Caldas, M., Rodríguez , D. C., & Hurtado, H. G. (2008). Comparación histológica y morfométrica entre el ojo de *Eremophilus mutisii* (Trichomycteridae) y el de *Oncorhynchus mykiss* (Salmónida). *Acta Biológica Colombiana*, 2, 73-88.
- Turizo-Tapia, A., Caballero-Gallardo, K., & Olivero-Verbel, J. (2014). Mercurio en el distrito minero de San Martín de Loba, sur de Bolívar (Colombia). In II SICA. 87-93.
- Universidad Nacional de Colombia. (13 de 06 de 2017). *Agencia de noticias*. Obtenido de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/pez-capitan-re poblara-aguas-del-altiplano-cundiboyacense.html>
- Valdebenito, I. (2008). Terapias hormonales utilizadas en el control artificial de la madurez sexual en peces de cultivo: una revisión. *Archivo de medicina Veterinaria*, 40(20), 115-123.
- Valderrama. (2007). Análisis de estado, identificación de tensores ambientales y formulación de medidas de conservación para el capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii* Humboldt, 1805, en la laguna de Fúquene, Colombia. *Dalhia*, 9, 93-101.

- Valderrama, J. C. (2013). Como Preservar la Cantidad y la Calidad del Agua en la Cuenca del Lago de Tota.
- Valderrama, M. A., Garzón, & Hernández, S. (2007). Conservación de los peces nativos capitán de la sabana, *Eremophilus mutisii*, y guapucha, *Grundulus bogotensis*, en las lagunas de Fúquene, Cucunubá En: Franco L. y G. Andrade (eds.). Fúquene, Cucunubá y Palacio, conservación de la biodiversidad y manejo so.
- Valderrama, M., & Hernández, S. (2005). Propuesta para un plan de ordenación pesquera en la laguna de Fúquene. Fundacion Humedales, Serie divulgación tecnica.
- Vidal, L., Ruiz Agudelo, C., Delgado, J., Andrade, G., & Guzmán, A. (2015). Interacciones socioecológicas que perpetúan la degradación de la laguna de Fúquene, Andes orientales de Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 19(37), 49-66.
- Zeitoun, M. M., & Mehana, E. (2014). Impact of water pollution with heavy metals on fish health: overview and updates. *Global Veterinaria*, 12(2), 219-231.

10 Anexos

Anexo A. Porcentaje de referencias usadas.

Porcentaje de Referencias



Anexo B. Referencias usadas en idioma extranjero

Porcentaje de Referencias

