

Artículo de Investigación

Determinación de la concentración letal media CL₍₅₀₋₉₆₎ de los peces Bocachico y Capaz al fungicida Cyproconazole utilizado en el cultivo de café en el departamento del Huila

Determination of the lethal concentration average LC₍₅₀₋₉₆₎ of the Bocachico and Capaz fish to the fungicide Cyproconazole used in coffee growing in the department of Huila

Juan Camilo Pinto Barrios

<https://orcid.org/0000-0001-8585-0706>

Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental, Licenciado en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Docente Institución Educativa San Juan Bosco.

jcamilopinto@hotmail.com

Rubén Darío Valbuena Villarreal

<https://orcid.org/0000-0002-3244-7742>

Biólogo, Especialista y Magister en acuicultura, Doctor en agroindustria y desarrollo agrícola sostenible, docente Universidad Surcolombiana

rubendario@usco.edu.co

Fecha de recibido: 03/12/2019

Fecha de revisión: 17/12/2019

Fecha de aprobación: 03/11/2020

DOI 10.25054/22161325.2243

Resumen

Colombia evidencia uno de los principales problemas ambientales y este se refiere al uso indiscriminado de plaguicidas en actividades mineras, el vertimiento de aguas servidas, actividades industriales y prácticas agrícolas inadecuadas, estos compuestos pueden llegar a cuerpos de agua por lixiviación o escorrentía. Los peces tienen la capacidad de almacenar en su organismo una concentración mayor de estos compuestos en comparación con el medio, por lo que son un indicador importante de la contaminación. El objetivo del presente estudio fue determinar la concentración letal media CL₍₅₀₋₉₆₎ de las especies de peces *Prochilodus magdalenae* “bocachico” y *Pimelodus grosskopfii* “capaz” bajo la acción del principio activo de fungicidas Cyproconazole usado en cultivos de café en el departamento del Huila. Los bioensayos se realizaron en la Estación Experimental de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad Surcolombiana, usando 10 juveniles de bocachico bajo las concentraciones de 12.5, 14.0, 15.5 y 17.0 mg/L y 8 juveniles de capaz bajo las concentraciones de 6.0, 7.0, 8.0 y 9.0 mg/L, tres replicas para cada concentración, se observó la mortalidad para 3, 6, 24, 48, 72 y 96 horas de exposición. Se encontró que la CL₍₅₀₋₉₆₎ para el bocachico fue de 15,218 mg/L y para el capaz de 6,864 mg/L, evidenciando que el Cyproconazole es moderadamente tóxico para el bocachico y mucho más tóxico para el capaz. Estos resultados fueron comparados con otros estudios con el mismo fungicida o con las mismas especies mostrando similitudes con algunos invertebrados y con el herbicida glifosato. Se plantea que a largo plazo estos plaguicidas pueden potencialmente perturbar las especies de peces de agua dulce, la comercialización de ellas y por ende la economía de las familias pesqueras de la zona. Se recomienda monitorear la aplicación de los plaguicidas en las áreas agrícolas para evitar impactos sobre los ecosistemas acuáticos.

Palabras clave: Bioensayo; Toxicidad aguda; Plaguicida; Bocachico; Capaz.

Abstract

Colombia evidences one of the main environmental problems and this refers to the indiscriminate use of pesticides in mining activities, dumping of wastewater, industrial activities and inadequate agricultural practices, these compounds can reach bodies of water by leaching or runoff. The fish have the capacity to store in their organism a greater concentration of these compounds in comparison with the environment, reason why they are an important indicator of contamination. The objective of the present study was to determine the lethal concentration average LC₍₅₀₋₉₆₎ of the fish species *Prochilodus magdalenae* "bocachico" and *Pimelodus grosskopfii* "capaz" under the action of the active substance Cyproconazole fungicides used in coffee growing in the department of Huila. The bioassays were conducted at the Experimental Station of Hydrobiological Resources of the Surcolombiana University, using 10 bocachico's juveniles under the concentrations of 12.5, 14.0, 15.5 and 17.0 mg/L and 8 capaz's juveniles under the concentrations of 6.0, 7.0 8.0 and 9.0 mg/L, three replicates for each concentration, mortality was observed for 3, 6, 24, 48, 72 and 96 hours of exposure. It was found that the CL₍₅₀₋₉₆₎ for bocachico is 15.218 mg/L and for the capaz is 6.864 mg/L, evidencing that Cyproconazole is moderately toxic to the bocachico and much more toxic to the capaz. These results were compared with other studies with the same fungicide or with the same species showing similarities with some invertebrates and with the glyphosate herbicide. It is argued that in the long term these pesticides can potentially disturb freshwater fish species, their commercialization and therefore the economy of fishing families in the area. It is recommended to monitor the application of pesticides in agricultural areas to avoid impacts on aquatic ecosystems.

Keywords: Bioassay; Acute toxicity; Pesticide; Bocachico; Capaz.

1. Introducción

En el departamento del Huila se encuentran registrados 77.893 caficultores, que tienen un área sembrada de 138.067 hectáreas. El número de fincas dedicadas a este cultivo es de 95.605, ubicadas en 35 de los 37 municipios que tiene el departamento (Montoya, 2016). La calidad y manejo agronómico del cultivo de café dependerá de cómo se mantenga la siembra y se recolecten los frutos, por lo anterior es necesario tener manejo de arvenses especializado, esquemas de fertilización adecuados a las necesidades del cultivo, un control eficiente y oportuno de enfermedades y de plagas. Para llevar a cabo este control específicamente en el cultivo de café es necesario la implementación de distintas sustancias agrotóxicas (plaguicidas) que buscan erradicar insectos, ácaros, nematodos, bacterias, hongos y plantas indeseadas (malezas). Los plaguicidas usados en mayor medida son el Glifosato (herbicida), Cyproconazole (fungicida) y Clorpirifos (insecticida) con el fin de eliminar las principales enfermedades que atacan la planta de café, entre ellas están la roya, mancha de hierro, minador de las hojas, la broca y malezas (Cardona y Pino, 2016). Según Henao *et al.* (2005), el control post-aspersión de dichos agrotóxicos es bajo haciendo que los organismos acuáticos estén expuestos a estos xenobióticos por aplicaciones directas y por aportes de residuos que llegan a los cuerpos de agua provenientes de ambientes terrestres y de la atmósfera, por lixiviación, escorrentía y precipitación hasta llegar concentraciones significativas para especies de peces en los grandes cuerpos de agua lóticos que recorren el departamento del Huila.

El Cyproconazole de fórmula química C₁₅H₁₈ClN₃O, es Ingrediente activo de distintos fungicidas, su acción es sistémica y de contacto con actividad preventiva, curativa y erradicante. Su toxicodinámica en alterar el metabolismo primario del hongo donde es Inhibidor de la C14 desmetilación en la biosíntesis de los esteroides, impide la biosíntesis del ergosterol, componente de la membrana celular de numerosos hongos, frente al uso de este plaguicida en bioensayos ha arrojado toxicidades en peces: mediana, CL50 (96h) trucha arco iris 19 mg/L; en crustáceos: mediana, CE50 (48h) dafnidos >22 mg/L; en anfibios: nd; en aves: mediana; en insectos (abejas): alta a mediana; en lombrices de tierra: mediana; en algas: extrema, CE50 (72h) *Scenedesmus subspicatus* 0,099 mg/L; y en plantas: helecho acuático: extrema (CIPROCONAZOL 10%, 2017).

El uso cotidiano de esos químicos contribuye a la crisis de la agricultura que dificulta la preservación de los ecosistemas, los recursos naturales, y afecta la salud de las comunidades rurales y de los consumidores urbanos, la búsqueda de la productividad a corto plazo por encima de la sustentabilidad ecológica, practicada en las últimas décadas, ha dejado un saldo a nivel mundial de contaminación y envenenamiento donde el pretendido remedio universal ha resultado ser peor que la enfermedad (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito, 2010). Independientemente de sus beneficios, es evidente que los plaguicidas son sustancias químicas deliberadamente tóxicas, creadas para interferir algún sistema biológico en particular y que carecen de selectividad real. Afectan simultáneamente, y en mayor o menor grado, tanto a la especie deseada, como a otros seres vivos que interactúan de manera indirecta. Según Mancera y Álvarez (2006), los peces por representar varios niveles de la cadena alimenticia acuática, son excelentes indicadores de contaminación por metales pesados y/o otras sustancias contaminantes, ya que pueden bioacumular y biomagnificar a través de ella altas concentraciones de estos elementos. Ejemplo claro de esto es el mercurio el cual es bioamplificado casi en su totalidad por los peces en forma de metilmercurio, sustancia altamente tóxica y de fácil fijación en los tejidos musculares y adiposos, convirtiéndola en elemento clave en el transporte de este metal en las cadenas alimentarias acuáticas que culminan en el consumo humano (Organización Panamericana de la Salud. OPS, 1978).

La pesca de *Pimelodus grosskopfii* “capaz”, llega a alcanzar unas 60,8 toneladas/ año aguas arriba del embalse de Betania y 36,8 toneladas/año aguas debajo de dicha represa (Sánchez *et al.*, 2000), estos números se justifican por la fácil adaptación de esta especie al tramo de penetración del río al embalse con apreciable desarrollo poblacional (Alvarado, 1998). La especie *Prochilodus magdalenae* “Bocachico” presenta datos de pesca cercanos a 19,9 ton/año aguas debajo del embalse (Sánchez *et al.*, 2000). Según datos registrados por Olaya y Sánchez, (2005), el número de pescadores se estima en 490, de los cuales la gran mayoría utiliza atarraya como aparejo de pesca, y otros combinan su utilización con calandrio.

Con base en lo antes expuesto se buscó investigar, ¿Cuál es la Concentración letal media $CL_{(50-96)}$ de las especies de peces *Pimelodus grosskopfii* y *Prochilodus magdalenae* al principio activo de fungicidas Cyproconazole utilizado en el cultivo de café en el departamento del Huila?

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción y ubicación de la zona de estudio.

La Estación Experimental de Recursos Hidrobiológicos de la Universidad Surcolombiana, está ubicada dentro del predio “La Granja Experimental”, propiedad de la Universidad Surcolombiana, vereda San Miguel Palermo – Huila, situada a 461 m.s.n.m., a siete (7) Km de la ciudad de Neiva, dentro del área que cubre el distrito de adecuación de tierras de mediana escala Juncal. Esta zona presenta una temperatura ambiental promedio de 28.6°C y está ubicado geográficamente en los 2°53'10.5"LN 75°18'22.8"LO.

2.2. Unidades experimentales

Para las pruebas de $CL_{(50-96)}$ se utilizó una batería de 16 acuarios de 25 L de capacidad cada uno, los cuales contaban con aireación continua por medio de mangueras de aireación unidas a piedras difusoras. Permanecieron constantes los organismos empleados en cada ensayo, 10 juveniles de Bocachico (*P. magdalenae*) y 8 ejemplares juveniles de Capaz (*P. grosskopfii*) por unidad experimental, tiempo de exposición (96 horas).

El bocachico es como los típicos peces teleósteos donde el sistema respiratorio se fundamenta en las cavidades bucal, opercular y las branquias suspendidas entre ellas, Por su estructura anatómica, la branquia proporciona una gran superficie para el movimiento de oxígeno, CO₂, electrolitos, agua, amonio e hidrogeniones entre la sangre y el agua, constituyéndola como la superficie expuesta más delicada del pez. (Heath, 1995). Estos peces tienen un hábito alimenticio muy especializado, pues su dieta está compuesta básicamente por detritos orgánicos (Yossa & Araujo-Lima, 1998) y también por organismos bentónicos tales como larvas de insectos, larvas y huevos de moluscos,

crustáceos y otros organismos de fondo; algunos separan las partículas alimenticias antes de ingerirlas, pero la gran mayoría acumulan en su tracto digestivo grandes cantidades de sedimento junto con elevadas concentraciones de organismos de fondo.

El capaz registra una talla de madurez sexual entre los 25 y 33 cm con una fecundidad promedio de 39700 huevos con una época extendida de reproducción cuyo principal pico se observa entre septiembre y diciembre (Hiss *et al.*, 1978; Villa-Navarro, 1999). Según Cala *et al.*, (1996) el Capaz se considera un pez omnívoro y dentro de sus principales componentes alimenticios se encuentran dietas animales y vegetales (Villa-Navarro, 1999). Villaneda (1977), señala que para Capaz capturado en el río Magdalena presentan en el estómago un 48.8% de material de origen animal; dentro de este los insectos fueron el 31.25% peces y crustáceos el 4.09% y desechos el 13.54%.

2.3. Ensayos preliminares

Se acondicionaron los acuarios que fueron usados en los ensayos, se aleatorizaron y rotularon. Posteriormente se procedió al llenado, con agua proveniente del pozo profundo de la estación experimental. A cada tratamiento se le adicionó la concentración correspondiente del fungicida, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0 y 25.0 mg/L para bocachico y 2.5, 5.0, 10.0, 15.0 mg/L para capaz. La distribución de los organismos se realizó de la siguiente manera: para los ensayos con bocachico cada unidad experimental contenían 10 juveniles de esta especie, para capaz se trabajó con 8 juveniles en cada acuario, el número de ejemplares difiere debido al que el tamaño promedio del capaz fue mayor, por lo tanto se alteraba el espacio mínimo por pez en pecera, disminuyendo el número de peces se evitó muerte por estrés (tabla 2). Las observaciones de las pruebas preliminares se realizaron a las 3 horas, 6 horas, 24 horas, 48 horas, 72 horas y finalmente a las 96 horas. Los ensayos preliminares se llevaron a cabo con el objetivo de encontrar los porcentajes de mortalidad del 0% y 100%, para determinar el rango a utilizar en las pruebas finales.

Finalizada esta fase se dispuso el agua contaminada de los acuarios en tanques de almacenamiento de 60 L, la empresa Serviambiental fue la encargada de recoger estos tanques en la estación experimental para realizar su posterior tratamiento. Los peces muertos fueron registrados y depositados en un congelador a (-20 °C) de la estación experimental.

2.4. Ensayos finales

De los resultados preliminares donde mueren el 0% y 100% de la población, se seleccionaron las cuatro concentraciones para los ensayos finales de toxicidad de CL₍₅₀₋₉₆₎, la metodología de captura de los ejemplares usados en esta fase fue descrita en los ensayos preliminares. Las unidades experimentales tuvieron aireación continua, sin recirculación de agua para evitar el vertimiento del plaguicida. Las concentraciones usadas en las pruebas finales se describen en la tabla 1. Los tiempos de observación fueron los mismos que se usaron en las pruebas preliminares: 3, 6, 24, 48, 72 y 96 horas.

Finalizada esta fase se dispuso el agua contaminada de los acuarios en tanques de almacenamiento de 60 L, la empresa Serviambiental fue la encargada de recoger estos tanques en la estación experimental para realizar su posterior tratamiento. Los peces muertos fueron registrados y depositados en un congelador a (-20 °C) de la estación experimental.

Tabla 1. Diseño experimental de los bioensayos.

Espece	Tratamientos	Concentración mg/L
<i>Prochilodus magdalenae</i>	1	12.5
	2	15.5
	3	17.0
	4	14.0
<i>Pimelodus grosskopfii</i>	1	6.0
	2	7.0
	3	8.0
	4	9.0

2.5. Análisis de resultados

Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva como promedio ± desviación estándar. De acuerdo con la ecuación 1, los datos de sobrevivencia fueron analizados calculando la probabilidad de sobrevivencia final y los *i*th intervalos:

(1)

$$S_i^{LT} = \prod_{j=1}^i \frac{N_j - D_j}{N_j}$$

Al obtener los valores de probabilidad, se realizó las curvas Kaplan-Meier, para cada tratamiento. Para establecer diferencias significativas en las curvas de sobrevivencia, se comparó el control con cada uno de los tratamientos usando el test no paramétrico log-rank (Jiang y Fine, 2007) usando la ecuación 2:

(2)

$$LR = \frac{[\sum_{i=1}^k (O_i - E_i)]^2}{\sum_{i=1}^k \text{Var}(O_i - E_i)}$$

El resultado estadístico fue comparado con la distribución de χ^2 g -1 grado de libertad (Jiang y Fine, 2007). Para establecer diferencias significativas entre los tratamientos se procedió a utilizar estadística no paramétrica, por no presentar una distribución normal los datos analizados. La prueba usada fue la ANOVA de Kruskal-Wallis y se usó una significancia de $p < 0,05$. La CL_{50} fue calculada con el método de Probit. Los datos fueron analizados con el software estadístico R Core Team (2018).

3. Resultados y Discusión

3.1. Talla y peso de los ejemplares

La tabla 2 muestra los resultados promedios de las mediciones de los juveniles de bocachico y capaz usados en los ensayos finales del presente bioensayo ecotoxicológico con sus respectivas desviaciones.

Tabla 2. Talla y peso de los ejemplares del bioensayo

Bocachico		Capaz	
Talla (cm)	Peso (g)	Talla (cm)	Peso (g)
9.56±0,95	8.84±1,76	13.53±1,18	13.15±2,49

3.2. Pruebas finales *Prochilodus magdalenae* “bocachico”

Después de realizados los ensayos preliminares se concluyó que para las pruebas finales se utilizarían 4 concentraciones: 12.5, 14.0, 15.5 y 17.0 mg/L. La Tabla 3 describe la mortalidad del bocachico en diferentes tiempos bajo la acción del plaguicida Cyproconazole.

Tabla 3. Pruebas finales Bocachico

Tratamiento	Concentración (mg/L)	Mortalidad					
		Tiempo (horas)					
		3	6	24	48	72	96
Control	0	0%	0%	0%	0%	0%	0%
T1	12.5	0%	0%	0%	0%	0%	0%
T4	14.0	0%	0%	0%	0%	6.6%	6.6%
T2	15.5	0%	0%	13.3%	26.6%	46.6%	56.6%
T3	17.0	0%	100%	100%	100%	100%	100%

Por medio del programa estadístico Probit se determinó la concentración Letal Media, obteniendo como resultado que la CL (50-96) fue de 15,218 mg/L, concentración donde se produce la muerte del 50% de los organismos *P. magdalenae* durante las 96 horas de exposición.

Según Yamamoto, (2015) por las curvas de sobrevivencia de Kaplan-Meier se infiere la probabilidad que tienen los individuos de la especie bocachico de sobrevivir en 96 horas bajo la acción del plaguicida, por ende el bocachico tiene el 100% de probabilidad de sobrevivencia cuando está bajo una concentración de 12.5 mg/L. esta probabilidad comienza a disminuir a medida que aumenta la concentración del tóxico, encontrando que para 14 y 15.5 mg/L la probabilidad de supervivencia fue de 90 y 30% respectivamente. Se observa una línea vertical que hace referencia a la concentración de 17 mg/L, infiriendo que bajo esta concentración el bocachico no tiene ninguna probabilidad de sobrevivencia después de 96 horas de exposición (Figura 1).

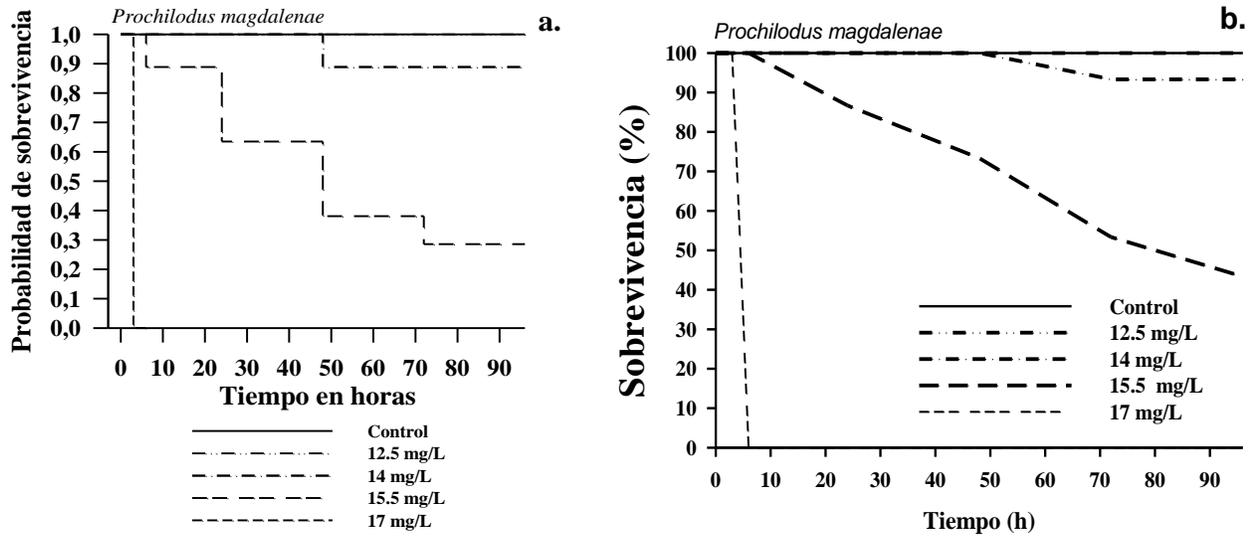


Figura 1. (a.) Curvas Kaplan-Meier de probabilidad de sobrevivencia para la especie y (b.) % sobrevivencia para la especie *P. magdalenae*

En la tabla 4 se deduce que a partir de la hora 6 de exposición al tóxico se observó diferencias significativas, infiriendo que a partir de ese tiempo el tratamiento con la concentración de 17 mg/L es estadísticamente diferente a los demás tratamientos, a partir de este tiempo se presentaron mortalidades del 100%.

Tabla 4. Test ANOVA de Kruskal-Wallis de la especie *Prochilodus magdalenae*

Tiempo (horas)	H	P	Diferencias significativas
3	H = 0,000	p = 1,000	No
6	H = 13,000	p = 0,0113	Si
24	H = 12,893	p = 0,0118	Si
48	H = 12,893	p = 0,0118	Si
72	H = 12,235	p = 0,0157	Si
96	H = 12,235	p = 0,0157	Si

3.3. Pruebas finales *Pimelodus grosskopfii* "capaz"

Después de realizados los ensayos preliminares se concluyó que para las pruebas finales se trabajaría con 4 concentraciones: 6, 7, 8 y 9 mg/L. La tabla 5 muestra la mortalidad del capaz en distintos tiempos bajo la acción de Cyproconazole.

Tabla 5. Pruebas finales Capaz

Tratamiento	Concentración (mg/L)	Mortalidad					
		Tiempo (horas)					
		3	6	24	48	72	96
Control	Control	0%	0%	0%	0%	0%	0%
T1	6.0	0%	0%	0%	0%	0%	0%
T2	7.0	0%	0%	0%	0%	20.8%	33.3%
T3	8.0	0%	0%	0%	12.5%	37.5%	54.1%
T4	9.0	0%	0%	0%	16.6%	41.6%	91.6%

Por medio del programa estadístico Probit se determinó la concentración Letal Media, obteniendo como resultado que la CL₍₅₀₋₉₆₎ fue de 6,864 mg/L, concentración donde se produce la muerte del 50% de los *P. grosskopfii* durante las 96 horas de exposición.

Según Yamamoto (2015), por las curvas de sobrevivencia de Kaplan-Meier se infiere la probabilidad que tienen los individuos de la especie capaz de sobrevivir en 96 horas bajo la acción del plaguicida, por ende la especie capaz tiene el 100% de probabilidad de sobrevivencia cuando está bajo una concentración de 6 mg/L, y un 70% y 50% de supervivencia cuando se encuentra con 7 y 8 mg/L respectivamente (Figura 2).

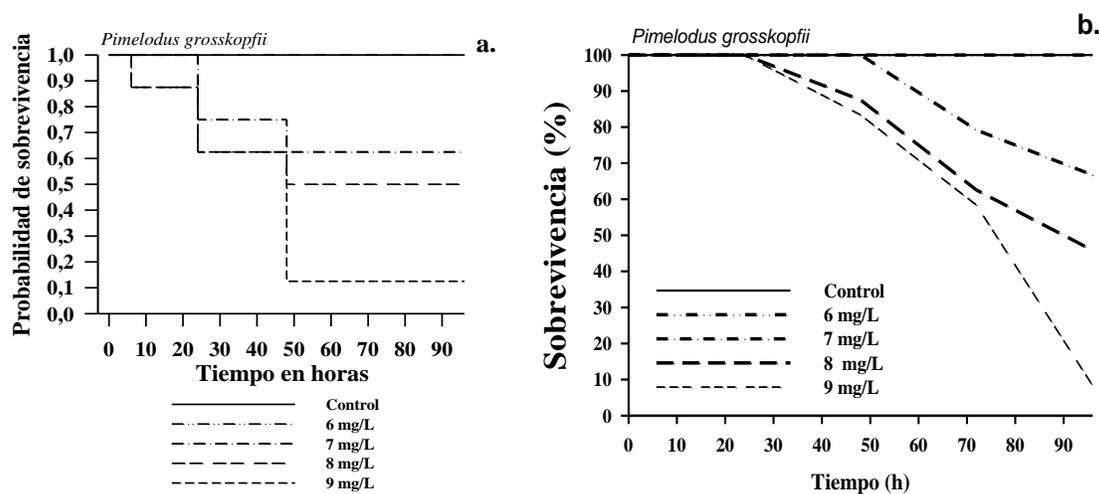


Figura 2. (a) Curvas Kaplan-Meier de probabilidad de sobrevivencia y (b) sobrevivencia para la especie *Pimelodus grosskopfii*.

En la tabla 6 se muestra que hay diferencia significativa a partir de las 72 horas del bioensayo, infiriendo que a partir de ese tiempo el tratamiento con la concentración de 9 mg/L es estadísticamente diferente a los demás tratamientos, tiempo en el cual se presentaron altas mortalidades.

Tabla 6. Test ANOVA de Kruskal-Wallis de la especie *Pimelodus grosskopfii*

Tiempo (horas)	H	P	Diferencias significativas
3	H = 0,000	p =1,000	No
6	H = 0,000	p =1,000	No
24	H = 0,000	p =1,000	No
48	H = 6,848	p =,1441	No
72	H = 11,657	p =,0201*	Si
96	H = 12,729	p =,0127*	Si

En la figura 3 se describe una mayor uniformidad de la probabilidad de sobrevivencia en la especie bocachico ya que presenta tres tratamientos por encima del 90%, mientras que el capaz tiene tres tratamientos por debajo de 70%. Si promediamos estos porcentajes de supervivencia hallamos una mínima diferencia entre las especies, el bocachico tendría el 57.5% de probabilidad de sobrevivir bajo estas cinco concentraciones y el capaz tendría el 55% de no morir bajo las cuatro concentraciones usadas en el bioensayo.

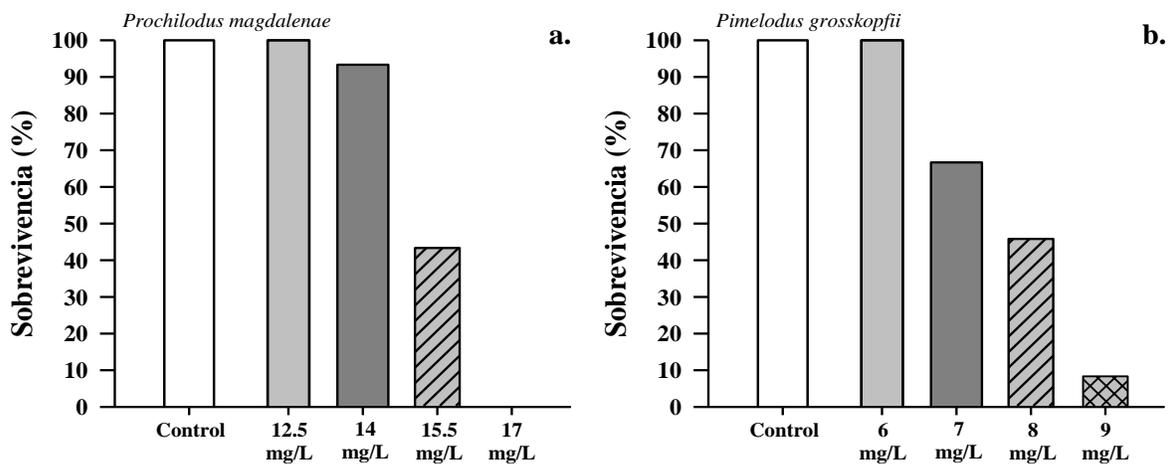


Figura 3. Comparación de la sobrevivencia a las 96 horas de las especies *Prochilodus magdalenae* (a) y *Pimelodus grosskopfii* (b).

3.3 Discusión

La presencia de plaguicidas en los ecosistemas de agua dulce indica un posible impacto en la biota del ecosistema y por ende la necesidad de realizar estudios ecotoxicológicos que muestren el comportamiento y tolerancia de invertebrados y vertebrados acuáticos en presencia de contaminantes (Ikpesu, 2015). Por lo anterior, este estudio revela importantes datos ecotoxicológicos para la evaluación del riesgo del fungicida cyproconazole en ecosistemas de agua dulce, dado los efectos letales observados en las especies *P. magdalenae* y *P. grosskopfii*. Las concentraciones letales encontradas en este estudio fueron comparadas con otras investigaciones realizadas en peces y otros organismos bajo la acción del mismo plaguicida que fueron realizadas a nivel nacional e internacional.

La revisión bibliográfica revela investigaciones relacionadas con el presente estudio, encontrando cuatro bioensayos realizados con el mismo Fungicida (Cyproconazole), como el desarrollado en Brasil (Saraiva, 2016) usando como variable biótica dos especies de invertebrados, se encuentra similitudes entre la CL50 de *Chironomus*

riparius y *P. magdalenae* de la presente investigación. Zhang *et al.*, (2016) describe la concentración efectiva del alga unicelular *Chlorella pyrenoidosa* bajo la acción del pesticida Cyproconazole arrojando los cuatro enantiómeros en 9.005, 6.616, 8.311, 4.290 y 9.410 mg / L. Tales diferencias enantioméricas deben tenerse en cuenta al evaluar el riesgo de ciproconazol al medio ambiente. Además en la India Tabassum *et al.*, (2016) determinó la toxicidad del Propiconazol (fungicida azol como el Cyproconazole) en los principales órganos como el hígado, riñón y branquias de *Channa punctata* mostrando cambios significativos como la atrofia de laminillas branquiales primarias y secundarias, inflamaciones, infiltraciones, degeneración de hepatocitos, vacuolización y riñón necrótico. La mayoría de los pesticidas están presentes en el medio ambiente en concentraciones sub-letales, concentraciones suficientemente altas para causar una alteración endocrina en organismos acuáticos (Zhang *et al.*, 2015). Los resultados están respaldados por la acción de los fungicidas azoles, que son compuestos disruptores endocrinos que afectan los procesos reproductivos y de desarrollo en vertebrados e invertebrados (Zarn *et al.*, 2003).

Palacio y Aguirre, (2002) en *P. magdalenae*, detalla la CL50 en 0.133 mg/L bajo la acción del cloruro de mercurio, la metilación del mercurio inorgánico en los sedimentos acuáticos es un proceso clave en el movimiento de este metal a través de la red trófica. Para el género *Prochilodus*, Oliveira *et al.*, (2014) determinó la presencia de los fungicidas carbendazim, benalaxyl, kresoxim-methyl, trifloxystrobin, pyraclostrobin y BF 500 en el hígado, bazo y riñones en *Prochilodus costatus* que habitan en el río São Francisco (Brazil), autores como Do Carmo y Martínez, (2008) en *Prochilodus lineatus* determinaron la CL₅₀₋₉₆ en 13.69 mg/L bajo la acción de herbicidas que tienen como base el glifosato, resultados similares a los encontrados en este estudio.

Se reporta un bioensayo realizado con *P. grosskopfii* para determinar la cantidad de mercurio en su cuerpo encontrando valores promedios de 0.07 mg/Kg (Gómez *et al.*, 2015). Autores como Rodrigues *et al.*, (1989) determinaron el efecto de algunos iones metálicos sobre la enzima Delta-aminolevulinatase deshidratasa de *Pimelodus maculatus* hallando que iones como Pb^{2+} , Cd^{2+} , Hg^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+} inhiben dicha enzima en un 50% en la sangre e hígado bajo concentraciones de 5 a 70 y 10 a 170 μM respectivamente

Se describen tres investigaciones con plaguicidas que tienen como principio activo el glifosato, hay gran variedad de estudios relacionados con esta sustancia, se resalta el estudio realizado por el grupo Monsanto en la Argentina hallando la CL50 en 8.2 mg/L para la Trucha arcoíris, valores próximos de la CL50 del capaz de la presente investigación, mostrando que estas dos especies de peces de agua dulce tienen comportamientos similares frente a tóxicos agrícolas como lo son el glifosato y el cyproconazole.

Se demanda aumentar el número de investigaciones sobre las especies bocachico y capaz, para así comprender su morfología, fisiología y ecología ampliando la información sobre una de las especies de mayor importancia ecológica y económica de la cuenca alta del río Magdalena. Finalmente la presente investigación proporciona información importante para la evaluación de riesgos de fungicidas, ya que los datos ecotoxicológicos sobre la toxicidad de cyproconazole en vertebrados de agua dulce son escasos, lo que dificulta la evaluación del riesgo ambiental. Dado que el bocachico y el capaz son dos de las especies nativas más capturadas con fines comerciales en el departamento del Huila, puede potencialmente alterar tanto las cadenas tróficas del ecosistema como la dinámica económica y social de la comunidad pesquera ribereña de los principales afluentes del departamento como lo es el río Magdalena. Es importante seguir realizando pruebas de toxicidad con organismos nativos, empleando las sustancias de interés sanitario descritas en el Decreto 1594 de 1984, obteniendo así la mayor cantidad de referencias que puedan complementar los datos que allí se encuentran para que posteriormente sean aplicados en las diferentes especies y ecosistemas del territorio nacional teniendo en cuenta la diversidad biológica presente en el país, las características y diferencias entre cada uno de estos. Se debe resaltar que la cooperación entre la academia y la industria privada es vital para formar alianzas donde se promueva el apoyo mutuo para el desarrollo de proyectos de carácter ambiental logrando un desarrollo concertado entre los actores de la sociedad y de esta manera lograr una construcción de sociedad más amable ambientalmente.

4. Conclusiones

Se determinó que la concentración letal media de la especie *Prochilodus magdalenae* fue de 15,218 mg/L cuando se encuentra bajo la acción del fungicida Cyproconazole en condiciones controladas de laboratorio durante las primeras 96 horas de exposición.

Se determinó que la concentración letal media de la especie *Pimelodus grosskopfii* fue de 6,864 mg/L cuando se encuentra bajo la acción del fungicida Cyproconazole en condiciones controladas de laboratorio durante las primeras 96 horas de exposición.

Se observó mayor probabilidad de sobrevivencia en la especie Bocachico ya que presenta tres tratamientos por encima del 90%, mientras que el Capaz tiene tres tratamientos por debajo de 70%. Promediando los datos de supervivencia se encuentra una pequeña diferencia entre las especies, el bocachico tendría el 57.5% de probabilidad de sobrevivir bajo estas cinco concentraciones y el capaz tendría el 55% de no morir bajo las cuatro concentraciones usadas en el bioensayo.

Se realizó una comparación del estudio frente a otras investigaciones teniendo como parámetros: el fungicida y las especies usadas en los bioensayos, encontrando similitudes entre la CL50 del genero *Prochilodus* frente a plaguicidas como glifosato y cyproconazole. Además de similitudes entre CL50 del bocachico e invertebrados bajo el mismo agroquímico.

El artículo 45 del Decreto 1594 de 1984 establece que la CL50-96 máxima permitida para plaguicidas organoclorados es de 0.001mg/L cuando se destina el recurso para preservación de flora y fauna, valor muy por debajo de los datos encontrados en el presente estudio.

Se requiere aumentar el número de investigaciones sobre la especie *Pimelodus grosskopfii*, ya que son pocos o nulos las referencias bibliográficas de este pez, para así comprender su morfología, fisiología y ecología ampliando la información sobre una de las especies de mayor importancia ecológica y económica de la cuenca alta del río Magdalena.

5. Referencias bibliográficas

- Alvarado, H. (1998). Evaluación biológica-pesquera del embalse de Betania (Huila), Santa Fé de Bogotá. INPA. 14-31.
- Cala, P., Pérez, C., & Rodríguez, I. (1996). Aspectos bioecológicos de la población de capaz, *Pimelodus grosskopfii* (pices:pimelodidae), en el embalse de Betania y parte alta del río Magdalena, Colombia. *Revista de la academia colombiana de ciencias*. Vol. XX (77).
- Cardona, N. y Pino, L. (2016). Exposición laboral a plaguicidas en una muestra de trabajadores de café y gulupa mediante una matriz de tarea-exposición en el municipio de Jericó, Antioquia entre enero y mayo 2016. Universidad de Antioquia. Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez. Medellín.
- Ciproconazol 10%. WG. Recuperado de http://www.terralia.com/vademecum_de_productos_fitosanitarios_y_nutricionales/view_trademark?trademark_id=3392 Consultado el 2 de enero de 2017.
- Do Carmo Langiano, V., y Martinez, C. B. (2008). Toxicity and effects of a glyphosate-based herbicide on the Neotropical fish *Prochilodus lineatus*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 147(2), 222-231.
- Gómez, Á. G. G., Pérez, A. X. P., Bonilla, L. M. V., & Cuenca, L. V. C. (2015). Presencia de mercurio en la especie *Pimelodus grosskopfii* "Capaz" en el departamento del Huila. *Ingeniería y Región*, (13), 47-56

- Heath, A. (1995). Water pollution and fish physiology. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
- Henao, B., Palacio, J. A., & Camargo, M. (2005). Evaluación genotóxica de los plaguicidas Cipermetrina y Diazinón en Tilapia Roja (*Oreochromis sp.*). *Actualidades Biológicas*, 27(82), 43-55.
- Hiss J., Shirley K., & Aristizabal YW. (1978). La pesca en la represa de Prado, Tolima, 1974-1978. Publicación del Cuerpo de Paz. Bogotá D.C., Colombia.
- Ikpesu, T. O. (2015). Assessment of occurrence and concentrations of paraquat dichloride in water, sediments and fish from Warri River Basin, Niger Delta, Nigeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(11), 8517-8525. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3993-2>
- Jiang, H., y Fine, J. P. (2007). Survival analysis. In *Topics in Biostatistics* (pp. 303-318). Humana Press. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-59745-530-5_15
- Mancera, N. J., y Álvarez, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Montoya, A. (2016). Huila, eje del nuevo mapa cafetero de Colombia, federación nacional de cafeteros. https://www.federaciondefcafeteros.org/particulares/es/buenas_noticias/huila_eje_del_nuevo_mapa_cafetero_colombiano/ Consultado el 27 de diciembre de 2016.
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito. (2010). Problemática ambiental y la utilización de agroquímicos en la producción de coca., Informe analítico. Vienna, Austria: UNODC. http://www.unodc.org/documents/peruandecuador/Informes/InformesAnaliticos/Informe_Analitico_Agroquimicos-pdf. Consultado el 18 oct 2017.
- Olaya, A., y Sánchez, M. (2005). Editores. Del Macizo Colombiano al desierto La Tatacoa, la ruta del río Magdalena en el Huila. Neiva: Universidad Surcolombiana, Corporación Autónoma del Alto Magdalena CAM. 524p.
- Oliveira, F. A., Reis, L. de P., Soto, B., & Melo, M. (2014). Research of fungicides, acaricides and herbicides in fish *Prochilodus costatus* in São Francisco River Brazil. *Toxicology Letters*, 229, S123. DOI: 10.1016/j.toxlet.2014.06.440
- Organización Panamericana de la Salud OPS. (1978). Criterios de salud ambiental No. 1. Mercurio. Organización Panamericana de la Salud Publicación Científica 362. Washington D.C. (USA).
- Palacio, J., y Aguirre, N. J. (2002). Efectos tóxicos de la exposición aguda de *Prochilodus magdalenae* a cloruro de mercurio. *Actualidades Biológicas*, 24(77), 123-128.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rodrigues, A. L., Bellinaso, M. L., & Dick, T. (1989). Effect of some metal ions on blood and liver delta-aminolevulinic acid dehydratase of *Pimelodus maculatus* (Pisces, Pimelodidae). *Comparative biochemistry and physiology. B, Comparative biochemistry*, 94(1), 65-69. DOI: [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(89\)90012-6](https://doi.org/10.1016/0305-0491(89)90012-6)
- Sánchez, M., León, V. & Reyes, W., (2000). Evaluación de la pesca de especies nativas en el alto río Magdalena, departamento del Huila (Colombia). *Actualidades Biológicas* 22 (73), 215-223.
- Saraiva, A. D. S. (2016). Avaliação da toxicidade de Tiametoxam, Ciproconazol e Paraquat em invertebrados aquáticos. <http://hdl.handle.net/11612/377>. Consultado el 15 de Julio del 2018.
- Tabassum, H., Dawood, A. Q., Sharma, P., Khan, J., Raisuddin, S., y Parvez, S. (2016). Multi-organ toxicological impact of fungicide propiconazole on biochemical and histological profile of freshwater fish *Channa punctata* Bloch. *Ecological indicators*, 63, 359-365. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.052>

- Villa-Navarro, F. A. (1999). Estudio biológico pesquero de la represa de Prado para la determinación de especies promisorias en acuicultura. *Universidad del Tolima, Cortolima, INPA, Gobernación del Tolima y Comité Departamental de Cafeteros del Tolima, Ibagué*.
- Villaneda, J. A. A. (1977). Algunos aspectos biológicos del capaz *Pimelodus grosskopfii* (Steindachner 1879). *Trabajo de grado. Facultad deficiencias del Mar, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Bogotá*.
- Yamamoto, M. (2015). Curvas de sobrevivencia: Kaplan Meier. *Contacto Científico*, 5(1).
- Yossa, M. I., & Araujo-Lima, C. A. R. M. (1998). Detritivory in two Amazonian fish species. *Journal of Fish Biology*, 52(6), 1141-1153.
- Zhang, J., Zhang, J., Liu, R., Gan, J., Liu, J., y Liu, W. (2015). Endocrine-disrupting effects of pesticides through interference with human glucocorticoid receptor. *Environmental Science & Technology*, 50(1), 435-443. DOI: 10.1021/acs.est.5b03731
- Zhang, W., Cheng, C., Chen, L., Di, S., Liu, C., Diao, J., & Zhou, Z. (2016). Enantioselective toxic effects of cyproconazole enantiomers against *Chlorella pyrenoidosa*. *Chemosphere*, 159, 50-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.05.073>
- Zarn J A., Bruschweiler B J., & Schatter J. (2003). Azole Fungicides Affect Mammalian Steroidogenesis by Inhibiting Sterol 14 α -Demethylase and Aromatase. *Environ Health Perspect* 111:255-261. DOI:10.1289/ehp.5785