

**Evaluación de las áreas de desoves de los peces migratorios en el río Cauca
antes (2019-2022) y después (2023-2024) de la operación de las primeras turbinas del
Proyecto Hidroeléctrico Ituango**

Presentado por:

Juan Carlos Madariaga Mendoza

Director

Prof. Víctor Atencio García, MSc

Trabajo de grado para optar al título de
MSc en Gestión de Cuencas
Hidrográficas

Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Santo Tomás

Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas

Octubre de 2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi director de tesis, el Prof. Víctor Atencio García, por su orientación académica y acompañamiento en este proceso. Sus capacidades han sido de aporte invaluable y clave para orientar mis ideas y alcanzar los objetivos de la presente investigación.

Mi gratitud a Empresas Públicas de Medellín (EPM) y a la Universidad de Córdoba, en representación del Instituto de Investigación Piscícola CINPIC, en cabeza de su director, Víctor Atencio García, por el apoyo logístico y la financiación de los contratos 00636 y 246358, que hicieron posible la realización del trabajo de campo. A todos ustedes: Muchas gracias.

JUAN CARLOS MADARIAGA MENDOZA.

RESUMEN

El embalsamiento de los ríos para la generación de energía eléctrica es una de las principales causas de impactos sobre el recurso íctico, particularmente sobre los peces migradores. El objetivo del estudio fue evaluar las áreas de desove de los peces migratorios aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (PHI) antes (2019-2022) y después (2023-2024) de entrar en operación las dos primeras turbinas de generación de energía en el río Cauca. Se estimaron las áreas de desove de los peces migradores en dos periodos: uno previo a la generación de energía (2019-2022) y otro tras el inicio de la operación de las dos primeras turbinas de generación del PHI (Ituango, Antioquia) el 30 de noviembre de 2022, para analizar las alteraciones en las áreas de desove de los peces migratorios. La metodología utilizada en esta investigación fue de tipo cuantitativo; los datos se recolectaron mediante instrumentos como el GPS, Google Earth y/o SAS Planet, así como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). También se utilizaron otros métodos, como los instrumentos hidrológicos y los instrumentos biológicos, como la recolección de ictioplancton y las técnicas socio ecológicas. Se emplearon datos de los sitios de desove de las principales especies de peces migratorios como: bocachico (*Prochilodus magdalenae*), comelón (*Megaleporinus muyscorum*), brycónidos (*Brycon* spp.), vizcaína (*Curimata vimartii*), arenca (*Triportheus magdalenae*), bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), bagre sapo (*Pseudopimelodus atricaudus*), barbudos (*Pimelodus* spp.), blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*)

Estas metodologías fueron evaluadas y arrojaron los siguientes resultados. Las áreas de desove se estimaron a partir del número de eventos reproductivos (desoves) detectados en cada periodo. En el periodo 2019-2022, previo a la generación, se detectaron 1298 eventos reproductivos, mientras que en el periodo 2023-2024, posterior a la

generación, se registraron 1548 desoves de las nueve especies objeto de estudio en esta investigación. Las especies con mayor frecuencia de desoves (F) fueron comelón *Megaleporinus muyscorum*, bocachico *Prochilodus magdalenae* y bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

PALABRAS CLAVE: embalses, GPS, peces potamódromos, reproducción, SIG.

ABSTRACT

The embankment of rivers for the generation of electricity is one of the main causes of impacts on the fish resource, particularly on migratory fish. The objective of the study was to evaluate the spawning areas of the downstream migratory fish of the Ituango Hydroelectric Project (PHI) before (2019-2022) and after (2023-2024) the first two energy generation turbines in the Cauca River came into operation. The spawning areas of migratory fish were estimated in two periods: one prior to power generation (2019-2022) and another after the start of operation of the first two PHI generation turbines (Ituango, Antioquia) on November 30, 2022, to analyse changes in their spawning areas. The methodology used in this research was quantitative; the data were collected through instruments such as GPS, Google Earth and/or SAS Planet, as well as Geographic Information Systems (GIS). Other methods were also used, including hydrological and biological instruments (e.g., ichthyoplankton collection) and socio-ecological techniques. Data were used from the spawning sites of the main migratory fish species such as: bocachico (*Prochilodus magdalenae*), comelón (*Megaleporinus muyscorum*), bryconids (*Brycon* spp.), Vizcaina (*Curimata vimartii*), arenca (*Triportheus magdalenae*), striped catfish (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*), toad catfish (*Pseudopimelodus atricaudus*), barbudo (*Pimelodus* spp.), blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*).

These methodologies were evaluated and yielded the following results. Spawning areas were estimated from the number of reproductive events (spawns) detected in each period. In the period 2019-2022, prior to generation, 1298 reproductive events were detected, while in the period 2023-2024, after generation, 1548 spawns of the nine species under study were recorded. The species with the highest frequency of spawning (F) were comelon

Megaleporinus muyscorum, bocachico Prochilodus magdalenae and striped catfish
Pseudoplatystoma magdaleniatum.

KEYWORDS: reservoirs, GPS, fish potamódromos, reproduction, GIS.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	5
INDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE FIGURAS (MAPAS).....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
CAPITULO I.....	15
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	15
1.1 Descripción del problema.....	15
1.2 Hipótesis.....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.4 Justificación.....	20
CAPITULO II.....	23
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Marco de referencias.....	23
2.1.1 Antecedentes a nivel internacionales.....	23
2.1.2 Antecedentes a nivel nacional.....	27
2.1.3 Antecedentes a nivel regional.....	31
2.2 Marco teórico.....	32
2.2.1 Enfoque de servicios ecosistémicos.....	33
2.2.2 Teoría del hábitat fluvial (River Continuum Concept – Rcc).....	34
2.2.3 Teoría del nicho ecológico.....	34
2.3 Marco conceptual.....	35
2.4 Marco legal.....	37
CAPITULO III.....	40
3. DISEÑO METODOLÓGICO.....	40
3.1 Tipo de estudio.....	40
3.2 Población.....	41
3.3 Muestra y sitios de muestreo.....	41
3.5 Instrumentos de recolección de datos.....	43

3.5.1 Colecta de ictioplancton	43
3.5.2 Caracterización del hábitat de desove	44
3.5.3 Técnica de teledetección y SIG	44
3.5.4 Técnicas socio ecológicas	44
CAPITULO IV	45
4. RESULTADOS	45
CAPITULO V	57
5. DISCUSIÓN	57
CAPITULO VI	60
6. CONCLUSIONES	60
CAPITULO VII	62
7. RECOMENDACIONSES	62
Referencias	63
CAPÍTULO VII	70
7. ANEXOS	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Muestra de las especies de peces migratorios más representativas en las cuencas media y baja del río Cauca.	42
Referencias	63
Anexo 1. Georreferenciación de las áreas de desove de comelón (<i>Megaleporinus muyscorum</i>) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.	70
Anexo 2. Georreferenciación de las áreas de desove de comelón (<i>Megaleporinus muyscorum</i>) en el río Cauca entre 2023 y 2024. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.....	71
Anexo 3. Georreferenciación de las áreas de desove de barbudos (<i>Pimelodus yuma.</i>) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.	72
Anexo 4. Georreferenciación de las áreas de desove de barbudos (<i>Pimelodus yuma</i>) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.....	72
Anexo 6. Georreferenciación de las áreas de desove de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae.</i>) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358	74
Anexo 7. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre rayado (<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.....	74
Anexo 8. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre rayado (<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.....	75
Anexo 9. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre sapo (<i>Pseudopimelodus sp.</i>) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto	

Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636..... 76

Anexo 10. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre sapo (*Pseudopimelodus* sp.) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358 76

Anexo 11. Georreferenciación de las áreas de desove de blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*.) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636..... 77

Anexo 12. Georreferenciación de las áreas de desove de blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*.) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358. 77

Anexo 13. Georreferenciación de las áreas de desove de vizcaína (*Curimata mivartii*.) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636. 77

Anexo 14. Georreferenciación de las áreas de desove de vizcaína (*Curimata mivartii*.) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358..... 78

Anexo 15. Georreferenciación de las áreas de desove de arenca (*Triportheus magdalenae*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636..... 78

Anexo 16. Georreferenciación de las áreas de desove de arenca (*Triportheus magdalenae*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358. 78

Anexo 17. Georreferenciación de las áreas de desove de brycónidos (*Brycon moorei*.) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636 79

Anexo 18. Georreferenciación de las áreas de desove de brycónidos (*Brycon moorei*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358..... 79

INDICE DE FIGURAS (MAPAS)

<i>Figura 1. Ubicación de los sitios de recolección de ictioplancton para identificación de áreas de desoves en el medio y bajo río Cauca en el periodo de 2019 a 2022. Fuente: Elaboración propia.</i>	43
<i>Figura 3: Áreas de desove del comelón (<i>Megaleporinus muyscorum</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove, y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	46
<i>Figura 4: Áreas de desove de barbudos (<i>Pimelodus sp</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	47
<i>Figura 5: Áreas de desove de bocachico (<i>Prochilodus magdalenae</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	48
<i>Figura 7. Áreas de desove de la especie bagre sapo (<i>Pseudopimelodus atricaudus</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	50
<i>Figura 8. Áreas de desove de la especie de blanquillo (<i>Sorubim cuspicaudus</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	50
<i>Figura 9: Áreas de desove de la especie de vizcaína (<i>Curimata mivartii</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	51
<i>Figura 10. Áreas de desoves de arenca (<i>Triporthus magdalenae</i>) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	51
<i>Figura 12: Áreas de desove de nueve especies migradoras en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.</i>	53
<i>Figura 13: Frecuencia de desoves (F) por ríos durante los dos periodos. a) 2019- 2022 y b) 2023-2024.. Fuente: Elaboración propia</i>	54
<i>Figura 14: Comportamiento de los desoves totales de las nueve especies durante dos periodos de evaluación: 2019 -2022 y 202 –2024. Fuente: Elaboración propia.</i>	55
<i>Figura 15: Mapa de áreas de desoves 2019 – 2022 y 2023 – 2024. Fuente: Elaboración propia.</i>	56
Referencias	63

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas son áreas de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar (DECRETO No..1729, 2002).

Las cuencas son muy importantes en todo el mundo, pues son ricas en biodiversidad, al reunir una variedad de categorías y recursos importantes para el hábitat de muchas especies acuáticas y terrestres. Asimismo, las cuencas hidrográficas son generadoras de energía porque concentran y movilizan agua, que puede convertirse en energía eléctrica. A nivel global, se construyen hidroeléctricas en las cuencas de ríos para generar energía que beneficia a millones de personas.

El embalsamiento de ríos para la construcción de hidroeléctricas ha sido un factor importante para el desarrollo energético en Colombia. Sin embargo, los represamientos han alterado las características hidrogeofísicas de los ríos, incluidas la conectividad fluvial, el régimen hidrológico y la morfología de los sedimentos, así como el régimen de temperatura del agua y el de los gases disueltos, que tienen impactos esenciales en el hábitat físico de los peces (Chen, Li, Lin, & Zhang, 2023).

Las alteraciones de las condiciones geofísicas de los ríos causadas por las represas tienen efectos significativos en la ecología fluvial, entre los cuales el impacto en los peces es de gran preocupación, ya que estos contribuyen al bienestar humano como recursos alimenticios clave (Chen, Li, Lin, & Zhang, 2023).

En el caso de los peces, en especial las especies migratorias, las hidroeléctricas pueden crear barreras físicas, alterar los flujos de agua en la cuenca y modificar las

características del hábitat necesarias para el desove exitoso, ya que estas especies dependen directamente de las condiciones del río y de su caudal. Por ello, resulta importante una caracterización precisa de las áreas de desove actuales.

La migración de peces es un proceso esencial para su reproducción, pues les permite acceder a hábitats adecuados, lo que favorece un mayor éxito del desove y la supervivencia de las crías. Entonces, resulta crucial identificar las zonas donde ocurre este proceso, pues la alteración o pérdida de estos espacios repercute directamente en la sostenibilidad de las poblaciones. Para analizar, delimitar y evaluar las áreas de desove, es importante conocer las dinámicas de reproducción de cada especie de peces migratorios y también tener en cuenta las políticas de conservación y gestión de estas especies, ya que muchas veces se ven alteradas por las presiones de actividades humanas, como la construcción de hidroeléctricas.

El río Cauca, recorre una de las zonas más pobladas de Colombia, sus aguas son aprovechadas para riego, uso industrial y suministro a varios acueductos. Esto lo convierte en un sistema con una cuenca hidráulicamente compleja, pues además del uso de sus aguas, también recibe descargas de otros afluentes y de aguas residuales domésticas, industriales o agrícolas (Zapata & Rivera, 2024).

En la cuenca media y baja del río Cauca, las dinámicas hidrológicas, como la construcción de hidroeléctricas, como la de Ituango, han creado barreras físicas que interfieren significativamente en las rutas migratorias de los peces, interrumpiendo las migraciones de peces, impidiendo que lleguen a sus áreas de desove y alterando su ciclo reproductivo.

La construcción del proyecto hidroeléctrico Ituango inició en noviembre de 2010 y, en febrero de 2014, se realizó la desviación del río Cauca mediante túneles, lo que permitió

continuar con el levantamiento de la presa. En abril de 2018, el proyecto enfrentó una grave contingencia debido al taponamiento de uno de los túneles de desviación, lo que obligó a inundar la casa de máquinas como medida de emergencia. Finalmente, el 30 de noviembre de 2022, tras superar las dificultades, se inició la generación de energía con la puesta en funcionamiento de las primeras turbinas (EPM, 2022).

Ante esta situación, el presente estudio se centra en la evaluación de las áreas de desove de las especies de peces migratorios en la cuenca media y baja del río Cauca en dos periodos de tiempo, el primero va desde 2019 hasta 2022, donde se puso en marcha la primera y segunda turbina del proyecto Hidroituango, mientras que el segundo periodo comprende desde 2023 hasta 2024 con el fin de analizar, identificar y comparar patrones, impactos y necesidades de manejo para la conservación y sostenibilidad de las poblaciones de peces migratorios.

CAPITULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

1.1 Descripción del problema

A nivel mundial, la construcción de presas y embalses ha modificado cerca del 70% de los ríos existentes, con el propósito de generar energía eléctrica, sistemas de riego y agua potable (Kjaerland, Kumm, & Varis, 2007). Estas obras crean barreras al flujo natural del agua e interfieren en los procesos ecológicos de la zona del embalse, modificando los hábitats acuáticos y afectando a las comunidades biológicas (Xiaoyan, Shikui, Qinghe, & Shiliang, 2010). Las hidroeléctricas no solo afectan las dinámicas y corrientes naturales de los ríos, sino que también afectan la fauna, flora y comunidades que viven en zonas ribereñas a los ríos. Con la fragmentación de los ríos, el recurso pesquero migratorio, además de sufrir la interrupción de la migración, pierde áreas de dispersión, maduración y desove aguas arriba de las cuencas (Atencio, 2000).

La migración es una estrategia utilizada por los peces migratorios para mantener su dinámica poblacional, que implica la búsqueda de lugares para su reproducción (desove), alimentación y refugio (Katopodis, 1989). Las especies migratorias son reconocidas por recorrer largas distancias para reproducirse. Los desoves ocurren en un medio lótico; se liberan huevos que derivan por el río mientras avanzan su hidratación y desarrollo embrionario.

El comportamiento migratorio de peces está relacionado con la hidrogeomorfología de los ríos de flujo libre. Este comportamiento evolucionó durante largos periodos de tiempo en estos ecosistemas, y no en ríos con represas hidroeléctricas geológicamente muy recientes (Agostinho, Gómez, Suzuki, & Julio, 2003).

En las últimas décadas, las represas han sometido a las poblaciones de peces migratorios a severas presiones, pues se convierten en trampas para sus huevos que derivan aguas abajo, alteran el flujo natural de los ríos e interrumpen su migración, afectando la diversidad íctica (Agostinho, Gómez, Suzuki, & Julio, 2003).

Por su parte, los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta muy útil en los procesos de gestión y monitoreo de los ríos, así mismo de toma de decisiones para la ubicación de recursos, ya que permiten la recolección de gran cantidad de información, superponerla y procesarla; lo cual genera modelos que permiten hacer un análisis e integrar los datos espaciales y no espaciales, con el fin de obtener un objetivo específico que dependa de esta información.

Teniendo en cuenta lo anterior, Colombia es un país rico en recursos naturales y biodiversidad, privilegiado en cuanto a sus reservas de agua (Ministerio de Ambiente , 2023). Además, Colombia es uno de los países andinos con mayor potencial para el desarrollo de la energía hidroeléctrica (Jiménez-Segura, y otros, 2014). Existen muchos ríos en Colombia donde operan hidroeléctricas, como los ríos Magdalena, Cauca, Anchicayá y Sinú. Si bien aportan beneficios al desarrollo económico del país, también genera degradación del ecosistema en algunas zonas y alteración de los ciclos hidrológicos, de las alteraciones más estudiadas son las rutas de los peces migratorios para llegar a sus áreas de reproducción o área de desove, lo que genera un impacto negativo en el sector pesquero y las comunidades que se dedican a este oficio.

De acuerdo con (Medina, 2021) los impactos que ha tenido la construcción del PHI son la contaminación del agua ya sea superficial o subterránea, principalmente los cambios que se producen en la calidad del agua del embalse y los cambios en la dinámica fluvial del río. Estos impactos son negativos, ya que alteran los pulsos naturales que guían los

movimientos migratorios y los periodos de desove de muchas especies ícticas, lo que puede desincronizar sus ciclos reproductivos.

Con el objeto de determinar las consecuencias de la operación del proyecto hidroeléctrico Ituango (PHI), en su propósito de generar energía eléctrica, sobre la actividad reproductiva de los peces migratorios, se pretende estudiar los cambios en las áreas de desoves en la cuenca baja y media del río Cauca antes del inicio de la generación de energía eléctrica comparando las áreas de desoves antes y después de la puesta en marcha de la primera y segunda turbina de PHI en el segundo semestre de 2022; para lo cual se estimará las áreas de desoves antes (2019-2022) y después de la generación (2023-2024), para evaluar las posibles alteraciones espaciales o temporales en la distribución de los sitios de reproducción y establecer una base que permita valorar los impactos ambientales derivados de esta operación del proyecto, sobre la ictiofauna en el río Cauca; mediante los sistemas de información geográfica, con el software ArcGIS.

Lo anterior denota una problemática relacionada con las dinámicas de las especies migratorias asociada a su ciclo reproductivo agua abajo del PHI en el río Cauca, ante esto y teniendo en cuenta lo antes mencionado, se genera la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto del inicio de operación del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (PHI) con la puesta en marcha de su primera y segunda turbina, sobre las áreas de desove de los peces migratorios aguas abajo del PHI en el río Cauca analizado los desoves antes (2019 – 2022) y después de operaciones (2023 – 2024)?

1.2 Hipótesis

La operación inicial del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, con la entrada en funcionamiento de su primera y segunda turbina, generó cambios en las condiciones hidrológicas y ambientales del río Cauca, que podría afectar las áreas de desoves de los peces migratorios y por tanto el desove de estas especies, lo cual puede afectar la viabilidad y supervivencia de huevos y larvas de los peces migratorios del río Cauca.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Evaluar las alteraciones en las áreas de desove de los peces migratorios en la cuenca media y baja del río Cauca, con el inicio de la generación de energía de las dos primeras turbinas del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (PHI).

Objetivos específicos

- Describir las características físicas y biológicas de las áreas de desove utilizadas por peces migratorios aguas abajo del PHI antes (2019–2022) y después de la entrada en funcionamiento de la primera y segunda turbina (2023–2024) para la generación de energía eléctrica.
- Comparar las dinámicas de distribución espacial de las áreas de desove en ambos periodos e identificar posibles alteraciones asociadas a la puesta en marcha de las dos primeras turbinas de generación eléctrica.
- Analizar la relación entre los distintos cambios observados en las áreas de desove y las variables hidrológicas y ambientales modificadas por la operación inicial del PHI con las dos primeras turbinas.

1.4 Justificación

Las hidroeléctricas o los proyectos de generación de energía eléctrica surgen como respuesta a las problemáticas existentes en algunas regiones del territorio colombiano y a nivel global. A nivel mundial, la industria hidroeléctrica satisface casi el 17% de la demanda de electricidad. Las centrales hidroeléctricas reguladas constituyen la mayor parte, es decir, casi el 55%, y las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH) alrededor del 7% entre todas las fuentes de energía renovable convencionales (Kuriqi, A, Sordo, Bejarano, & Garrote, 2021).

En Colombia, según estudios del IDEAM, la oferta hídrica del país es seis veces superior a la mundial y tres veces mayor que la de Latinoamérica. Lo anterior se traduce en que Colombia es uno de los países del mundo con el mayor número de ecosistemas que producen agua, sin incluir los mares (Castillo, 2015). Entonces la topografía, la pluviosidad y la disponibilidad de recursos hídricos de Colombia la hacen atractiva para la construcción de embalses.

Para el departamento de Antioquia, el Proyecto Hidroeléctrico Ituango (PHI), una iniciativa de desarrollo regional que beneficia directamente a 12 municipios, ha suscitado grandes debates sobre su puesta en funcionamiento.

La construcción y puesta en marcha de este mega proyecto trajo consigo una serie de eventos, uno de estos se originó el 28 de abril de 2018, donde se produjo el taponamiento súbito e imprevisible de la galería auxiliar de desviación (GAD) que, entre otros efectos, llevó a tomar la decisión de habilitar la casa de máquinas como un canal para la descarga del agua embalsada, con el fin de dar prelación a la protección de la vida humana y el medio ambiente (EPM, 2019).

Durante la contingencia se evacuaron 5.626 familias de los municipios de Valdivia, Tarazá y Cáceres, donde EPM, junto con la UNGRD, colocó toda su capacidad para intervenir en actividades establecidas en el plan de contingencia para suplir las necesidades de las poblaciones afectadas (EPM, 2019).

Por otra parte, la Resolución CREG 194 de 2020 estableció la fecha límite para iniciar la puesta en marcha de las turbinas 1 y 2. Considerando este contexto, se evaluaron las áreas de desove en dos periodos distintos desde septiembre de 2019 hasta el 30 de noviembre de 2022, previos a la puesta en marcha de la primera y segunda turbina (EPM, 2022) y durante los dos primeros años de generación de energía eléctrica (enero de 2023 a diciembre de 2024). Estos periodos ofrecen información para analizar cambios espaciales y temporales en estos hábitats, críticos para la reproducción de los peces migradores, e identificar posibles cambios en las zonas reproductivas. Los resultados del presente estudio son esenciales para orientar las medidas de manejo y conservación que protejan la biodiversidad íctica y las actividades pesqueras en el río Cauca.

La presente investigación aborda una problemática ambiental en la cuenca media y baja del río Cauca, en particular aguas abajo del PHI, relacionada con las áreas de desove de las especies migratorias. Estas especies representan un factor importante en la estabilidad ecológica del río Cauca y la disminución de estas puede tener efectos negativos en la productividad pesquera y, por tanto, en lo social, al afectar a las comunidades cuyos ingresos y seguridad alimentaria dependen de la pesca.

La pertinencia social del estudio se debe a la generación de información científica relevante para identificar las alteraciones causadas por la fragmentación del río Cauca y la operación del PHI en su propósito de generar energía eléctrica. Es relevante y significativo porque el estudio sobre las dinámicas de las áreas de desove de las especies migratorias

contribuye no solo al conocimiento científico, sino también al desarrollo ambiental sostenible; además genera estrategias clave para la conservación ecológica del río, así mismo se generan ideas para la productividad pesquera en la zona, lo cual beneficia a las comunidades que viven cerca de la zona de estudio, logrando un impacto positivo a nivel regional y local.

Los resultados del presente estudio se alinean con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), especialmente con los ODS **6, 7, 15 y 17**, ya que estos promueven la protección y uso sostenible de los ecosistemas acuáticos, y busca una equidad entre la generación de energía hidroeléctrica, la conservación de la biodiversidad íctica y los servicios ecosistémicos del río Cauca.

El presente estudio se enmarcó en la línea de investigación sobre el manejo y la gestión de cuencas hidrográficas de la Maestría en Gestión de Cuencas Hidrográficas de la Universidad Santo Tomás. Esta investigación contribuye valiosamente a la visión de la maestría al abordar una problemática que integra los componentes de manejo ambiental, ecológico, hidrológico y socioambiental. El estudio de las áreas de desove de especies ícticas aporta información científica útil para la gestión ambiental de la cuenca, la conservación de la biodiversidad acuática y la formulación de estrategias de mitigación y restauración.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco de referencias

Se consultaron bases de dato como Scopus, Pubmed, Elsevier y se encontraron seis investigaciones a nivel internacional que permitieron conocer el desarrollo temprano y desove de los peces migratorios y algunas otras especies; de igual forma se abordaron seis investigaciones que se desarrollaron a nivel nacional; y por último las investigaciones a nivel departamental y municipal de las cuales se hallaron resultados de tres investigaciones; lo anterior permitió hacer preguntas, elaborar hipótesis e informarse de la temática objeto de estudio.

2.1.1 Antecedentes a nivel internacional

El primer artículo encontrado, fue escrito por (Padovani, Machinandiarena, Betti, & Leonarduzzi, 2024) y se titula: *Ictioplancton en el área reproductiva de la caballa (Scomber colias) próxima a Mar del Plata*. Se estudió la distribución y abundancia del ictioplancton presente en el área reproductiva de la caballa (*Scomber colias*) próxima a Mar del Plata, con el objetivo de profundizar en el conocimiento de sus áreas de desove y cría. En ocho estaciones se realizaron muestreos con multired a tres profundidades. Se identificaron huevos de caballa en cuatro estaciones ubicadas en el sector costero al norte del área de estudio (38° 18' S). Las mayores densidades ocurrieron en la estación más cercana a la isobata de 50 m, por encima de la termoclina, a una temperatura de aproximadamente 18°C. En dos estaciones en las que hubo presencia de huevos se identificaron larvas de caballa, cuyas tallas variaron entre 3 y 6 mm LS. Se identificaron huevos y larvas de otros 17 taxones de peces. De estos, 14 se determinaron a nivel de especie, 2 a nivel de familia y 1 a nivel de orden. Este antecedente es de gran importancia

porque contiene información para analizar y evaluar los desoves en los sitios de muestreo asignados a esta investigación.

(Cáceres, 2020) Realizó un estudio titulado: *Evaluación de la abundancia espacial y temporal del ictioplancton en la zona de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay*; tuvo como objetivo evaluar la importancia de los ríos Paraná y Paraguay en la reproducción de las especies de interés comercial y/o deportivo. Esta investigación, con un enfoque cuantitativo, se propuso estudiar la dinámica espacial y temporal del ictioplancton aguas arriba y aguas abajo de la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay, y establecer relaciones entre las variaciones de deriva de huevos y larvas, las variables ambientales de calidad del agua, y su vinculación con la Represa Hidroeléctrica Yacyretá. Se analizaron 5127 huevos y 43097 larvas, de los cuales alrededor del 10% correspondió a especies de interés comercial y/o deportivo. Las densidades promedio de huevos y larvas totales en el río Paraná fueron significativamente mayores en Puerto Antequera. Entre las especies de interés comercial y/o deportivo, las densidades de larvas de bogas (*Megaleporinus obtusidens*), sábalo (*Prochilodus lineatus*) y surubí (*Pseudoplatystoma corruscans*) fueron significativamente mayores en Puerto Antequera, y la de dorado (*Salminus brasiliensis*) fue mayor en Corrientes. Se encontró evidencia que sugiere que las zonas próximas a la confluencia de los ríos Paraná y Paraguay son áreas de reproducción independientes para las bogas, el sábalo y el surubí. La reproducción del dorado solo se registró en el Alto Paraná. Este antecedente es útil para respaldar la investigación, ya que contiene numerosas referencias para evaluar los desoves de las especies de peces migratorios del río Cauca.

(Oldani, Baigún, & Brancolini, 2022) publicaron el artículo titulado: *Ecología de peces migratorios de los tramos inferiores de los ríos Paraná y Uruguay*. Una revisión cuyo objetivo fue desarrollar un esquema de los desplazamientos de los peces migratorios

en los tramos inferiores de los ríos Paraná, Uruguay y del Río de la Plata, y consideró los impactos ambientales de las represas y de la pesca. La investigación concluyó que los peces migratorios de los ríos Paraná y Uruguay se reproducen en ambientes lóticos, asociados a las variaciones del nivel hidrométrico, para mantener las posiciones geográficas de las poblaciones y aumentar la dispersión de huevos y larvas. Los pejerreyes (*Odontesthes bonariensis*) se reproducen desde fines del invierno, luego siguen las sardinas y en “primavera verano” el resto de las especies. Esta investigación es muy importante para el desarrollo de futuras investigaciones, ya que proporciona un marco ecológico de referencia sobre las especies migratorias en los grandes ríos sudamericanos.

(Hernández, Solis, & Buitrago, 2015). Su estudio titulado: *Fotoperiodo y Ontogenia Inicial de Peces Migratorios en Brasil, con Énfasis en Sábalo (Prochilodus lineatus)*, tiene como objetivo realizar una compilación del conocimiento actual sobre la ontogenia del sábalo en las fases de embrión y larva, bajo ambientes lóticos variables ambientales y desde la perspectiva de la capacidad adaptativa del fenotipo. Se revisaron casos de otras especies bajo cultivo o con potencial productivo. De este modo, la utilización de los cambios en los regímenes de luz y oscuridad ha permitido acelerar o retrasar la reproducción, así como las tasas de crecimiento y el desarrollo embrionario y larval en peces. Este estudio concluyó que existen importantes trabajos sobre la ontogenia inicial de *P. lineatus* y otras especies; además, sugiere profundizar en los estudios bajo diferentes condiciones ambientales, en particular de fotoperiodo, sobre la reproducción de los peces del Neotrópico. Es importante este estudio porque aporta información sobre estrategias de manejo y conservación de peces migratorios.

(Miranda & Venticinque, 2022). Realizaron un estudio titulado: *Identificación de zonas potenciales de desove del dorado (Brachyplatystoma rousseauxii) en la cuenca*

Madeira. Se realizó un análisis espacial que permitió identificar otras zonas de la cuenca del Madeira que podrían ser clave para el desove del dorado. Para ello, se utilizó información hidrológica y topográfica disponible a nivel de unidades de cuenca y se realizó un análisis de similitud para ubicar geográficamente potenciales zonas de desove. Se identificaron 70 subcuencas que podrían albergar 22 sitios de desove de dorado. Todas las zonas identificadas corresponden a tributarios de origen directo en los Andes y de cuarto orden o superior. Como resultado, se arrojó que se han identificado 70 subcuencas clasificadas en el mismo grupo donde se confirmó el desove (Zona de desarrollo distrital del departamento de Beni, Bolivia) en la cuenca del Madeira. Este antecedente, sin duda, tiene gran relevancia para esta investigación, ya que propone una metodología aplicable para identificar zonas de desove.

(Bertrán, Rueda, & Sánchez, 2022). Su investigación se titula: *Abundancia de larvas de Pseudoplatystoma sp en el río Bermejos* con el objetivo de determinar y comparar la abundancia de larvas de *Pseudoplatystoma sp* en el río Bermejo durante tres periodos anuales como un indicador de reproducción. Las muestras se colectaron en el margen derecho del río Bermejo, a la altura de Puerto Eva Perón, entre enero y marzo, de 2020 a 2022. Se utilizó una red de ictioplancton, operada de forma pasiva contracorriente, durante 1 min. Las muestras se conservaron en alcohol 96% *in situ* y se procesaron y se separaron del resto de material de deriva en laboratorio. Se cuantificaron las larvas totales y se aislaron las correspondientes a *Pseudoplatystoma sp*, teniendo en cuenta ciertos caracteres morfológicos. El 31,42% de las larvas capturadas fueron identificadas como individuos pertenecientes a la subfamilia Sorubiminae, de los cuales un 10% correspondió a *Pseudoplatystoma sp*. y las larvas restantes se determinarán mediante biología molecular. Las larvas se clasificaron de acuerdo con el grado de desarrollo en pre-flexión, flexión y

post-flexión. Este antecedente es importante porque demuestra que el estudio de las larvas de peces migratorios es una herramienta práctica y confiable para evaluar la reproducción en ríos grandes, como el río Cauca.

2.1.2 Antecedentes a nivel nacional

(Restrepo, Valencia, Galeano, Herrera, & Jiménez, 2022) Esta investigación se titula: *Rescate de peces aguas abajo de la presa Porce III (Colombia) para reducir su mortalidad*. Tiene por objetivo reducir la mortalidad de peces atrapados en hábitats acuáticos temporales creados aguas abajo de la central hidroeléctrica Porce III. La investigación presentó los siguientes resultados: En las 16 actividades de rescate y reubicación realizadas, se capturaron 4927 individuos, distribuidos en 28 especies, 12 familias y cinco órdenes; se registraron las mayores capturas, mientras que las especies de los órdenes Synbranchiformes y Cyprinodontiformes fueron las de menor captura. Esto representa el 12% de la riqueza total de peces de la cuenca del río Magdalena. Este antecedente genera interés dentro de esta investigación porque por medio de este se puede conocer información relevante de tipo nacional acerca de investigaciones relacionadas con peces migratorios y áreas de desove.

(Olaya, y otros, 2022) Publicaron una investigación que se titula *Diferencias en el tamaño corporal y la abundancia de peces altoandinos, arriba y abajo de la represa Neusa, Colombia*, esta investigación tuvo como objetivo general evaluar los efectos de la represa del Neusa sobre la ictiofauna. Se utilizaron diferentes métodos de comparación en secciones del río, unas aguas arriba y otras aguas abajo de la represa con el Sistema Richter IHA. Se muestrearon tres transectos de 100 m de largo en cada sección, cada dos meses, entre 2017 y 2019, obteniéndose los siguientes resultados: se recolectaron 729 individuos de cinco familias; los *Trichomycterus bogotense* eran más pequeños aguas abajo de la

represa; *Oncorhynchus mykiss* fue más pequeño y menos abundante; y no hubo diferencias para *Grundulus bogotensis* y *Eremophilus mutisii*. Independientemente de los factores climáticos, *O. mykiss* y *G. bogotensis* fueron más abundantes aguas arriba; mientras que *E. mutisii* y *T. bogotense* lo fueron aguas abajo de la represa. Este estudio es significativo para esta investigación, pues hace hincapié en el uso de técnicas de recaptura de peces, una técnica fundamental dentro de esta investigación.

La investigación titulada: *Riqueza Genetic insights into Cyphocharax magdalенаe (Characiformes: Curimatidae): Microsatellite loci development and population analysis in the Cauca River, Colombia*; diseñada por (Ochoa Aristizábal & Marquez, 2024) con el objetivo de investigar el *Cyphocharax magdalенаe*, (yalúa), una especie colombiana de pez dulceacuícola, que desempeña un papel importante en la distribución de nutrientes y sirve como una importante fuente de alimento para otras especies de peces y comunidades pesqueras locales. Este estudio utilizó tecnología de secuenciación de última generación para desarrollar loci microsatélites específicos de la especie y realizó un análisis genético poblacional de *C. magdalенаe* en las secciones media y baja del río Cauca, Colombia. De 30 pares de cebadores microsatélites evaluados en 324 individuos, se encontró que 14 loci eran polimórficos, en equilibrio de ligamiento y, en al menos una población, sus frecuencias genotípicas estaban en equilibrio de Hardy-Weinberg. Los resultados mostraron altos niveles de diversidad genética en comparación con otros Characiformes neotropicales, y coeficientes de endogamia similares a los reportados en especies filogenéticamente relacionadas. Además, *C. magdalенаe* presentó una estructura poblacional estacional (lluviosa-seca) compuesta por dos stocks genéticos, con señales de cuello de botella y un tamaño poblacional efectivo elevado. Este antecedente es importante porque aporta

información sobre una especie migradora, presente en el río Cauca y su metodología aporta significativamente a esta investigación.

(Jiménez, Restrepo, García, Torres, & Jaramillo, 2018) En su estudio titulado: Peces dentro de túneles de descarga de la central hidroeléctrica del río Porce, en esta investigación, el rescate de peces en el túnel de descarga es una medida de manejo para reducir la probabilidad de atrapamiento en los túneles. En la central hidroeléctrica Porce III se detecta la presencia de peces cuando el túnel de descarga se desocupa para realizar mantenimiento en las compuertas de descarga de las unidades de generación. Se encontraron ocho especies de peces distintas de las registradas en otras estructuras similares. En los traslados predominaron ejemplares de especies migratorias que se desplazan dos veces al año desde las zonas bajas de la cuenca y utilizan los diferentes ríos tributarios como ruta de migración. Esta estrategia de mitigación ha sido favorable para evitar la mortalidad de peces por su atrapamiento en estas estructuras durante los momentos de mantenimiento de las compuertas, y con frecuencia se desarrolla como una actividad de manejo de las empresas de generación de energía. Este antecedente es importante porque evidencia la incidencia de la infraestructura hidroeléctrica en las rutas migratorias de los peces, lo cual resulta muy significativo para la investigación.

(Rojas & García, 2022) Realizaron una investigación que se titula *Aspectos de la reproducción de Plagioscion magdalenae (Pisces: Sciaenidae) en el embalse El Guájaro, bajo Magdalena, Colombia*, la cual tuvo como objetivo: describir los aspectos reproductivos de *P. magdalenae*, en este embalse. Se realizaron diez muestreos mensuales, entre abril de 2018 y enero de 2019, con el fin de abarcar cada momento del pulso de inundación. Se calcularon la proporción sexual, la relación gonadosomática (RGS), la

fecundidad, el diámetro de los ovocitos y la talla media de madurez sexual (L50). Se analizaron 207 ejemplares, y se establecieron siete intervalos de tallas; 126 individuos fueron machos y 81 hembras, con una proporción sexual de 1:1.6 (hembra-macho). La RGS indicó que este pez presentó varios picos reproductivos, los principales en julio y septiembre. La fecundidad absoluta fue de 1909 ovocitos para aguas bajando, 1590 para aguas bajas, 2435 para aguas subiendo y 2132 para aguas altas, con un diámetro promedio de ovocito de 0.29 mm. Los machos maduraron antes que las hembras y la L50 estuvo por debajo de la talla media de captura (30 cm), lo que indica que la normativa legal está bien establecida, pero no hay regulación para su pesca. Este antecedente es importante para esta investigación, ya que el *Plagioscion magdalenae* se considera una especie muy representativa y está amenazada por represas, contaminación y sobrepesca, lo cual es muy similar a las especies presentes en la cuenca media y baja del río Cauca.

(Villamil, Cortés, & Rodríguez, 2018) Su investigación lleva por título: *Generalidades sobre la migración de bagres amazónicos de la familia Pimelodidae y su relación con los ciclos hidrológicos*; el objetivo fue abordar, de forma general, aspectos relacionados con la migración de Siluriformes y su relación con los ciclos hidrológicos. Se describieron los patrones migratorios de los bagres amazónicos, incluyendo las rutas y distancias recorridas durante sus desplazamientos; asimismo, se analizó las amenazas que enfrentan las especies migratorias, lo que permitió determinar que la sobrepesca amenaza las migraciones reproductivas. Este antecedente enriquece esta investigación con evidencias relacionadas con la migración de peces y, además, el desarrollo de este antecedente es similar al de esta investigación, ya que se realiza en el río Amazonas, un río que pertenece a Colombia y que tiene gran impacto, como el río Cauca.

2.1.3 Antecedentes a nivel regional

(Wolf, López, & Jiménez, 2019) Titularon su investigación: *Efectos de la generación de energía hidroeléctrica en la reproducción de Prochilodus magdalenae (Prochilodontidae): evidencia de la respuesta endocrina*. Esta investigación tiene por objetivo describir la respuesta endocrina asociada a la reproducción de un pez potamódromo tropical ante cambios en el régimen de descarga de caudal producido por la generación de hidroenergía en un río andino. Se utilizaron diferentes métodos y materiales como: análisis en la reproducción de *P. magdalenae* en individuos en dos sectores de una cuenca neotropical: uno con flujo hidrológico natural y otro con un régimen regulado, dando como resultado que la producción de hormonas relacionadas con la reproducción de peces (FSH y LH) estaba correlacionada con el índice gonadosomático, mientras que en peces bajo la influencia del pulso de agua producto de la operación hidroeléctrica esta correlación no fue detectada. Esta investigación es clave y muy útil, ya que aporta materiales y métodos de recolección de información muy eficientes para el desarrollo de esta investigación.

(Rangel Soto, 2021) Su investigación titulada: *Estado y desempeño de la liseta Megaleporinus Muyscorum (Steindachner, 1900) en el embalse de Urrá y su área de influencia (Alto Sinú, Colombia)*. Con un enfoque cuantitativo, tuvo por objetivo determinar algunos parámetros del estado y dinámica poblacional de la liseta *Megaleporinus muyscorum* en el embalse de Urrá y su área de influencia (Alto Sinú). En esta investigación se utilizaron diferentes tipos de instrumentos para la recolección de información, además se hizo una revisión bibliográfica de estudios relacionados con la temática, lo que dio como resultado que la tendencia al incremento de la abundancia relativa de la liseta *M. muyscorum* evidenció su adaptación a las nuevas condiciones

originadas por la construcción del embalse de Urrá y ríos aportantes. Este antecedente es importante porque aporta información relevante y útil a la investigación, pues ofrece datos y análisis concretos sobre cómo esta especie migratoria puede desarrollar mecanismos de adaptación en hábitats alterados.

(Restrepo & Maetzke, 2019) Desarrollaron una monografía que se titula *Afectaciones socioambientales en las zonas aguas abajo de grandes represas hidroeléctricas, casos de estudio Hidroituango y La Miel*; cuyo objetivo fue determinar los efectos de la construcción de grandes represas hidroeléctricas en Antioquia sobre las comunidades aguas abajo de los embalses a partir de un análisis de cambios en el régimen de caudales y en el régimen de sedimentos. Se llevó a cabo un proceso metodológico de búsqueda de información en fuentes institucionales y secundarias. Este estudio presentó la siguiente conclusión: Es necesario pensar en estrategias que conviertan esta tendencia de manera inmediata, en estrategias que apunten a la sostenibilidad, las cuales no admiten alternativas o esperas. Por lo tanto, la adaptación de las empresas para respetar los parámetros establecidos en la normativa ambiental, y la legislación misma, deben representar una efectiva garantía para la conservación de los recursos naturales. Este antecedente es fundamental para esta investigación, pues abarca la alteración de los hábitats acuáticos por las hidroeléctricas, lo que obstaculiza las rutas migratorias de algunas especies reofilicas y las áreas de desove.

2.2 Marco teórico

El marco teórico en una investigación es importante porque orienta y define la metodología, ofreciendo al lector fundamentos sólidos.

A continuación, presentamos dos teorías y un enfoque que sirven de referentes teóricos para esta investigación.

2.2.1 Enfoque de servicios ecosistémicos

En los últimos años, el interés por comprender las dinámicas entre los seres humanos y el medio ambiente ha cobrado una relevancia crucial en los ámbitos académico, político y social. Este interés ha dado lugar a una reflexión más profunda sobre los servicios ecosistémicos, considerados elementos esenciales para asegurar un futuro sostenible.

Los servicios ecosistémicos son los beneficios directos e indirectos que los seres humanos obtenemos de los ecosistemas (ONU, 2001), tales como la purificación del aire, la polinización de cultivos, la regulación del clima, el suministro de alimentos y el control de inundaciones. Estos servicios son esenciales para el bienestar humano y, sin ellos, las sociedades modernas no podrían sobrevivir.

Autores como (Costanza, De Groot, & Farber, 1997) llevaron a cabo el primer esfuerzo global para valorar económicamente los servicios ecosistémicos y el capital natural.

Según (Costanza, De Groot, & Farber, 1997) la valoración económica de los servicios ecosistémicos es una herramienta clave para reconocer su importancia en la toma de decisiones políticas y económicas y estimó que el valor de los servicios ecosistémicos globales es comparable al Producto Interno Bruto (PIB) de los países más ricos del mundo. Esta valoración económica subraya la necesidad de incorporar el costo de la degradación de los ecosistemas en las decisiones políticas y económicas, una idea que se ha popularizado en el ámbito de la economía ecológica.

El enfoque de servicios ecosistémicos es crucial en esta investigación porque permite vincular directamente la conservación de las áreas de desove de peces migratorios con el bienestar de las comunidades del río Cauca. Es decir, conocer no solo los impactos

derivados de la construcción de Hidroituango, sino también analizar aspectos económicos y sociales.

2.2.2 Teoría del hábitat fluvial (River Continuum Concept – Rcc)

(Vannote, 1980) El creador de este modelo científico describe al río como un sistema ecológico continuo en el que las características físicas, químicas y biológicas varían gradualmente desde la cabecera hasta la desembocadura.

La teoría plantea que el río es un gradiente espacial en el que las especies y comunidades de peces se adaptan a las condiciones físicas del sistema fluvial, determinadas por los patrones de entrada, transporte, energía, nutrientes, caudal, temperatura, morfología del cauce, uso y almacenamiento de materia orgánica.

De acuerdo con lo anterior, en el Cauca medio y bajo, este gradiente influye en la ubicación de las zonas de desove, ya que muchas especies migratorias buscan aguas con flujo moderado, temperatura óptima y oxigenación suficiente.

2.2.3 Teoría del nicho ecológico

Esta teoría diseñada por (Hutchinson, 1957) afirma que el nicho es una propiedad de las especies y que cada especie ocupa un conjunto particular de condiciones ambientales y recursos que le permiten sobrevivir y reproducirse. Esta teoría se basa en la teoría de conjuntos la cual permite analizar e identificar variables no lineales como una respuesta de los organismos vivos a la variación de la intensidad de una condición ambiental como es el ejemplo de la temperatura.

En el caso de las especies migratorias de peces del río Cauca, el nicho se basa en la temperatura del agua, la oxigenación, la cobertura vegetal y los patrones de caudal. Las alteraciones generadas por la operación de turbinas, como cambios en la temperatura y la

velocidad de la corriente, pueden modificar las condiciones del nicho, afectando directamente las áreas de desove y por ende el éxito reproductivo.

2.3 Marco conceptual

El marco conceptual tiene la función de proporcionar una base sólida de conceptos para una mejor comprensión de la temática. Se encontraron nueve conceptos, relacionados estrechamente con la temática de la investigación.

Áreas de desove. Son sitios específicos del río donde se forman concentraciones masivas de peces con el fin de reproducirse. Estos sitios son cruciales para la supervivencia de las especies migradoras del río Cauca. Muchas de las agregaciones son multiespecies y constituyen sitios importantes para las pesquerías de subsistencia, recreativas y comerciales (Thompson Poo, 2019).

Cuenca. La cuenca hidrográfica es un área definida topográficamente, drenada por un curso de agua o un sistema conectado de cursos de agua, que dispone de una salida simple para que todo el caudal efluente sea descargado (Vásconez, y otros, 2019).

Hidroeléctrica. Una central hidroeléctrica es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por los ríos para transformarlas en energía eléctrica mediante turbinas acopladas a generadores. Después de este proceso, el agua se devuelve al río en las condiciones en que se tomó, de modo que se puede volver a usar por otra central situada aguas abajo o para consumo (Ingfocol Ltda, 2015).

Hidrografía. Se refiere al estudio y mapeo de las características de las aguas superficiales en la tierra, como ríos, lagos, embalses y arroyos. Este campo de estudio se

centra en la descripción de la distribución, dirección, extensión y comportamientos de los cuerpos de agua que se encuentran en la superficie terrestre (Hernández Herrera, 2025).

Ictioplancton. Así se denomina al conjunto de huevos y larvas que constituyen los primeros estadios de desarrollo de los peces (Rodríguez Graña, 2015) que flotan o derivan en los ríos.

Migración. Movimientos periódicos o temporales que realizan individuos o poblaciones de una especie, por lo menos entre dos sitios o hábitats, cuyas distancias pueden variar desde pocos hasta cientos de kilómetros (Skov, y otros, 2013). Las migraciones de peces con fines reproductivos son de los eventos más llamativo y se considera que menos del 2.5% de todas las especies de peces realizan algún tipo de migración (Binder, Cooke, & Hinch, 2011).

Peces migratorios. Los peces migratorios son los que cambian de hábitat regularmente y, por lo general, realizan migraciones de larga distancia que se dan en periodos de tiempo variados. Algunas especies migran solo una vez al año; sin embargo, otras, realizan viajes largos más frecuentes (WWF, 2022).

Río Cauca. El río Cauca es un cuerpo de agua que presenta uno de los índices más altos de diversidad biológica del país, es el segundo río más importante después del Magdalena. En su recorrido entre las cordilleras Central y Occidental, el río pasa por más de 180 municipios y siete departamentos, por tanto, es común observar como a la par que atraviesa diferentes regiones geográficas, se encuentren poblaciones que dependen ampliamente del recurso pesquero (Arango, y otros, 2022).

Rutas migratorias. Rutas que emplean peces como salmones, anguilas, aves y otros organismos para desplazarse de o hacia una zona de desove, alimentación o criadero.

Las rutas migratorias a menudo cruzan las fronteras internacionales o los límites administrativos de un mismo país (Fraume, 2014)

Sistemas de información geográfica. Un SIG es un conjunto organizado de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñado para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y mostrar de manera eficiente todo tipo de información geográficamente referenciada. La tecnología SIG integra operaciones comunes de bases de datos, como consultas y análisis estadístico, con las ventajas únicas de la visualización y el análisis geográfico que ofrecen los mapas (Kanickaraj, 2018).

2.4 Marco legal

El presente proyecto de investigación se encuentra enmarcado en un conjunto de normas y disposiciones jurídicas, de carácter nacional e internacional, que regulan el uso, la conservación y la protección de los recursos hidrológicos y de los ecosistemas acuáticos continentales. Este marco legal se divide en normativa internacional, nacional y local o municipal.

La primera normativa en la cual se enmarca es el convenio sobre la diversidad biológica (ONU, 1992), la cual es un tratado internacional clave para la conservación de la biodiversidad, su uso sostenible y la distribución justa de los beneficios de los recursos genéticos. Esta normativa es importante para esta investigación porque reconoce el valor de la biodiversidad acuática, además promueve el uso de pesca sostenible.

Asimismo, tenemos los Objetivos de Desarrollo Sostenible. El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. (ONU, 2015). Estos objetivos son importantes para esta

investigación porque promueven la gestión sostenible de los ecosistemas acuáticos y la protección de especies amenazadas.

Por otra parte, la constitución política colombiana de 1991 es importante dentro del marco normativo de la investigación, porque respalda esta investigación a nivel nacional; en su artículo 80, establece y ordena al Estado proteger los recursos naturales y el medio ambiente, con el fin de garantizar conservación y desarrollo sostenible; lo cual es de mucha importancia en la investigación porque mediante el análisis de las rutas migratorias y áreas de desove de las especies migratorias se puede contribuir a la conservación de estas especies, lo cual genera un impacto positivo en el desarrollo sostenible del ecosistema que se estudia.

A nivel nacional, se encuentran leyes y decretos relacionados con la temática abordada como es el caso de la (LEY 99, 1993), la cual crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA.

La Ley 13 de 1990, también se encuentra dentro del marco legal de esta investigación, ya que esta ley tiene por objeto regular el manejo integral y la explotación racional de los recursos pesqueros con el fin de asegurar su aprovechamiento sostenido.

Asimismo, el decreto 1681 de 1978 busca asegurar la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos hidrobiológicos, lo que incluye a los peces migratorios y sus áreas de desove. Se enfoca en la gestión ecológica y económica de estos recursos.

A nivel regional encontramos que la normativa regional está a cargo de instituciones como Corantioquia y la AUNAP (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca); estas

autoridades han expedido instrucciones y orientaciones para el monitoreo, protección y restauración de hábitats de especies migratorias, así como programas de apoyo a la pesca sostenible en zonas ribereñas a la cuenca media y baja del río Cauca.

CAPITULO III

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de estudio

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y cualitativo. A través de este enfoque, los investigadores buscan caracterizar variables, identificar patrones y establecer relaciones causales entre los fenómenos estudiados. La evaluación de los cambios en las áreas de desove de especies de peces migratorios en la cuenca media y baja del río Cauca durante los periodos 2019-2022 y 2023-2024, en relación con la operación inicial del Proyecto Hidroeléctrico Hidroituango y la puesta en marcha de su primera turbina, es necesario contar con los Sistemas de Información Geográfica que son ampliamente utilizados en estudios ecológicos y de conservación para el estudio de peces migratorios, también es importante resaltar que los SIG resultan de gran utilidad para mostrar un panorama general de las áreas de desove de especies de peces migratorios en un contexto espacio-temporal en la cuenca media y baja de río Cauca. El uso de estos permiten estimar aspectos como la cantidad de desove por especies migratorias, la distancia de migración, el periodo de desove y las variaciones por periodos anuales, lo cual proporciona una base sólida para el análisis estadístico y la toma de decisiones basadas en evidencia.

Para el estudio se utilizó un tipo de investigación correlacional, ya que autores como (Huamani Mantari, 2019) afirman que este tipo determina el grado de asociación o relación entre dos o más variables. En primer lugar, se midió las variables; posteriormente, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y estadísticas, se estimó la correlación. Este tipo de estudio es fundamental y pertinente porque permite identificar cómo la puesta en marcha de

la primera y segunda turbina del proyecto hidroeléctrico Ituango ha interferido negativa o positivamente en las áreas de desove.

Los datos utilizados para el desarrollo de la presente investigación se tomaron de los contratos entre EPM y la Universidad de Córdoba así: para el periodo 2019-2022 (convenio CT-2019-00636) y para el periodo 2023-2024 (contrato CW-246358). Estos contratos tienen por objetivo conocer los desplazamientos de las especies migratorias con el fin de diseñar estrategias de conservación. Estas acciones forman parte del programa de manejo del recurso íctico y pesquero dentro del Plan de Manejo Ambiental del Proyecto Hidroeléctrico Ituango. (EPM, 2024).

3.2 Población

La población de estudio está conformada por especies migratorias de peces presentes en la cuenca media y baja del río Cauca entre los periodos de 2019-2022 y 2023-2024. Para estimar las áreas de desove se analizaron los eventos reproductivos de nueve especies: arenca *Triportheus magadalenae*, bagre rayado *Pseudoplatystoma magdalenietum*, bagre sapo *Pseudopimelodus atricaudus*, barbudos *Pimelodus sp*, blanquillo *Sorubim cuspicaudus*, bocachico *Prochilodus magdalenae*, brycónidos *Brycon sp*, comelón *Megaleporinus muyscorum* y vizcaína *Curimata vimartii*.

Esta población se selecciona porque integra las principales especies migradoras del río Cauca, la cual es fundamental para el mantenimiento de la biodiversidad acuática.

3.3 Muestra y sitios de muestreo

Para la detección y caracterización de áreas de desove de especies de peces migradores y sus posibles alteraciones en la cuenca media y baja del río Cauca, durante las

dos temporadas 2019-2022 y 2023-2024, se tomaron muestreos de ictioplancton en 34 sitios distribuidos longitudinalmente (figura 1).

El ictioplancton colectado fue cuantificado e identificado para analizar la reproducción de los peces y estimar las áreas de desove en el río Cauca, con base en la edad del ictioplancton y la velocidad del río. Los muestreos se realizaron una vez por semana durante los dos periodos, además, se realizaron muestreos consecutivos durante quince días en las dos temporadas reproductivas de cada ciclo anual.

Tabla 1: Muestra de las especies de peces migratorios más representativas en las cuencas media y baja del río Cauca.

Nombre común	Nombre científico
Arenca	<i>Triportheus magdalenae</i>
Bagre rayado	<i>Pseudoplatystoma magdaleniatum</i>
Bagre sapo	<i>Pseudopimelodus sp.</i>
Barbudos	<i>Pimelodus yuma</i>
Blanquillo	<i>Sorubim cuspicaudus</i>
Bocachico	<i>Prochilodus magdalenae</i>
Brycónidos	<i>Brycon moorei</i>
Comelón	<i>Megaleporinus muyscorum</i>
Vizcaína	<i>Curimata mivartii</i>

Fuente: Elaboración propia

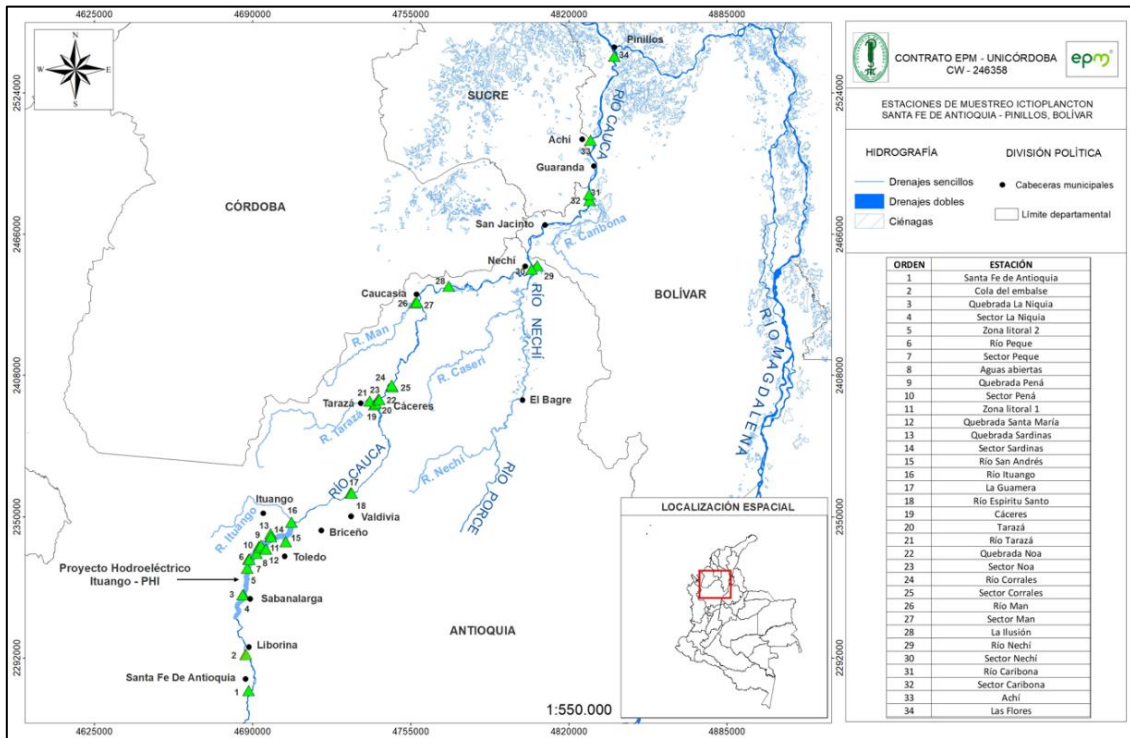


Figura 1. Ubicación de los sitios de recolección de ictioplancton para identificación de áreas de desoves en el medio y bajo río Cauca en el periodo de 2019 a 2022. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de la información, las técnicas de investigación e instrumentos de recolección, como instrumentos biológicos, hidrológicos, espaciales y socioecológicos, que se describen a continuación:

3.5.1 Colecta de ictioplancton

El ictioplancton se recolectó en ríos, quebradas y caños del río Cauca, a 0.5 m de profundidad y a 2-10 m de la orilla, mediante una red cónica (0.5 m de diámetro, 1.5 m de longitud y malla de 0.4 mm) durante un minuto. En el embalse, los muestreos se realizaron mediante arrastres subsuperficiales en zigzag durante cinco minutos a 7-8 km/h en una lancha. La velocidad del río se midió con un correntómetro (Oceanics, USA), sumergido a

30-50 cm por un minuto, registrando lecturas iniciales y finales del contador de flujo; la velocidad se calculó con la siguiente ecuación

$$Vel\ río = ((L_f - L_i) * c_1) / (c_2 / t)$$

Donde $c_1 = 26.873$, $c_2 = 999.999$ son constantes y t es el tiempo de muestreo (60 s).

3.5.2 Caracterización del hábitat de desove

Para la caracterización del hábitat o área de desove se consideraron cuatro factores: *factores biológicos* migración, densidad y abundancia de cada una de las especies; *factores ambientales* la temperatura y la velocidad del río; *factores temporales*, el momento del desove y los *factores geográficos* como las características de las zonas de desove.

3.5.3 Técnica de teledetección y SIG

A través de los Sistemas de Información Geográfica y la técnica de teledetección se analizaron las imágenes satelitales y mapas, con el fin de observar y localizar los puntos estratégicos de las áreas de desove.

3.5.4 Técnicas socio ecológicas

Se tuvieron en cuenta la observación y el trabajo de campo en zonas cercanas a la cuenca media y baja del río Cauca, donde habitan comunidades de pescadores y personas que se benefician del río y sus especies. Se llevaron a cabo capacitaciones y talleres con pescadores para que estos conocieran el alcance y los beneficios que generan los proyectos de investigación en las comunidades.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

Las áreas de desove se estimaron a partir del número de eventos reproductivos (desoves) detectados en cada periodo. En el periodo 2019-2022, previo a la generación, se detectaron 1298 eventos reproductivos, mientras que en el periodo 2023-2024, posterior a la generación, se registraron 1548 desoves de las nueve especies objeto de estudio en esta investigación. Las especies con mayor frecuencia de desoves (F) fueron comelón *Megaleporinus muyscorum*, bocachico *Prochilodus magdalenae* y bagre rayado *Pseudoplatystoma magdaleniatum*.

Las figuras que se muestran a continuación están clasificadas por grupos, para una mejor comprensión. El grupo a, representa el primer periodo comprendido entre 2019-2022 (mapa de puntos verdes); mientras que el grupo b, representa el periodo de 2023-2024, (mapa de puntos rojos). Cada punto corresponde a una zona de desove, y el tamaño del círculo indica la intensidad o la frecuencia de desoves (F) registradas durante los dos periodos de monitoreo.

La figura 3, muestra la distribución espacial de los sitios de desove de comelón *M. muyscorum*, antes y después de la operación de las turbinas, en la cuenca media y baja del río Cauca, incluyendo los principales afluentes, como los ríos Nechí, Caribona y Tarazá. El análisis de 401 desoves viables durante el periodo 2019-2022 mostró que comelón en el río Cauca desovó entre la vereda La América, Valdivia y la vereda Santa Mónica, Achí. En el río Nechí se detectaron 29 desoves, que ocurrieron entre la vereda Solano y Anorí y la vereda San Pedro, El Bagre. En el río Caribona se registraron 3 desoves entre las veredas San Agustín y El Reposo, San Jacinto. En el río Tarazá se detectaron 6 desoves entre la zona urbana de Tarazá y la vereda Popales, Tarazá, y en el río Corrales se detectó 1 desove.

En el segundo periodo (2023-2024) se detectaron 432 desoves en el río Cauca, entre la vereda Astillero, Valdivia y la vereda Santa Mónica, Achí. En el río Nechí se detectaron 27 desoves entre la zona urbana de El Bagre y la vereda Granada, en Nechí. En el río Caribona ocurrieron 4 desoves entre la vereda San Agustín y la vereda La Raya, San Jacinto. En el río Tarazá se detectaron 2 desoves entre la vereda El Socorro, Ituango y la cabecera urbana de Tarazá, y en los ríos Corrales y Man ocurrieron en total 5 desoves.

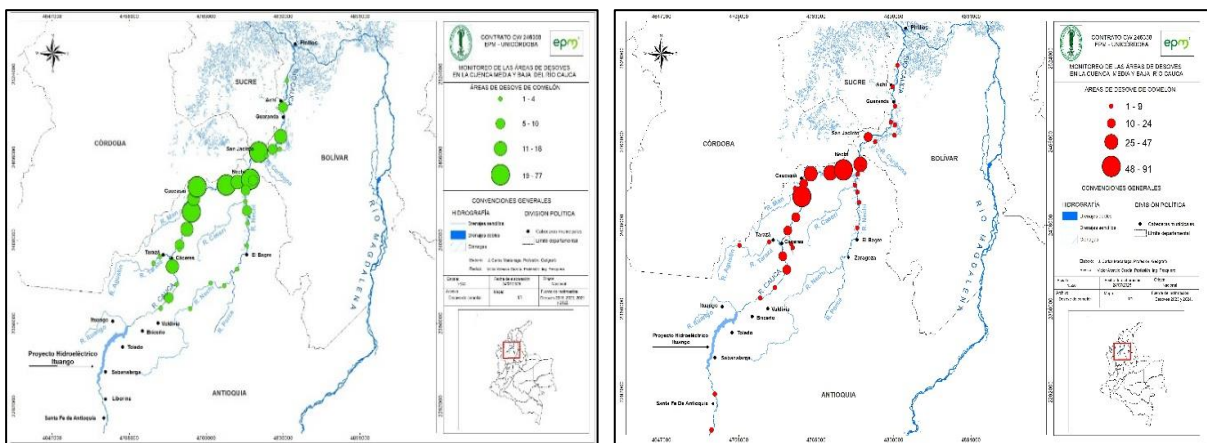


Figura 3: Áreas de desove del comelón (*Megaleporinus muyscorum*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove, y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 4, muestra las áreas de desove de *Pimelodus sp.* El análisis de 41 eventos reproductivos durante el primer periodo (2019-2022), ocurridos entre la vereda El Doce (Tarazá) y la zona urbana de San Jacinto. Mientras que durante el segundo periodo (2023-2024), se registraron 149 desoves, los cuales ocurrieron principalmente en el río Cauca entre la vereda Las Agüitas, Ituango y la vereda Buenavista, Achí. También se detectaron 11 desoves en el río Nechí, entre la vereda Solano y Anorí, y la vereda San Pedro y El Bagre, y en los ríos Caribona, Tarazá y Espíritu Santo se registraron en total 4 desoves.

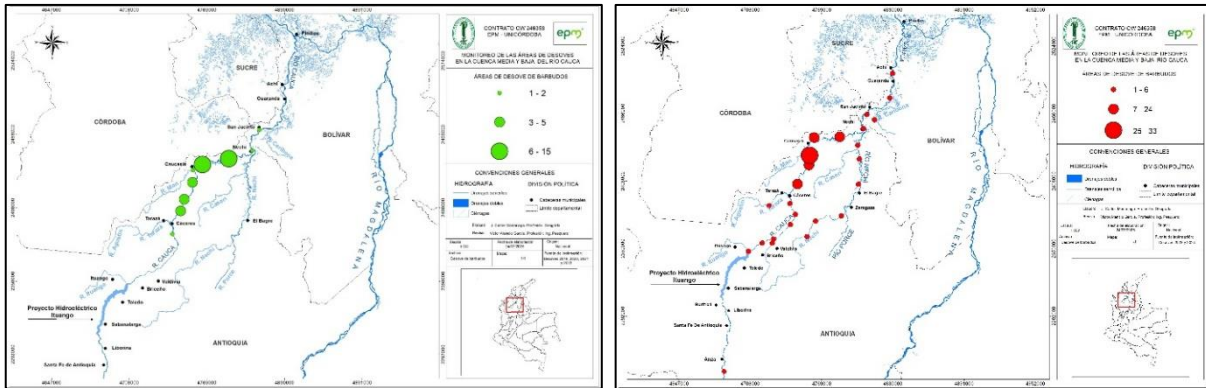


Figura 4: Áreas de desove de barbudos (*Pimelodus sp*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 5, muestra las zonas de desove de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) durante los dos periodos de evaluación. Durante el primer periodo (2019-2022), se registraron 426 desoves entre la vereda La América, Valdivia, y la vereda Santa Mónica, Achí, en el río Cauca. Para el río Nechí, presentaron 34 desoves entre la vereda Pueblo Nuevo, Zaragoza, y la vereda San Pedro, Nechí. En el río Caribona se detectaron 3 desoves entre Villa Uribe y la vereda San Agustín, Montecristo. En el río Tarazá se registraron 6 desoves entre la cabecera urbana de Tarazá y la vereda Popales. En el segundo periodo (2023-2024), se registraron 494 desoves de esta especie en el río Cauca, entre la vereda Las Agüitas, en Ituango, y la vereda Buenavista, en Achí. En el río Nechí se registraron 30 desoves entre Pueblo Nuevo, Zaragoza y la vereda San Pedro, Nechí. En el río Caribona se detectaron 2 desoves entre la vereda San Agustín, y la vereda La Raya, San Jacinto. En el río Tarazá 2 desoves entre la vereda Popales y la zona urbana de Tarazá y en el río Man se detectó 1 desove.

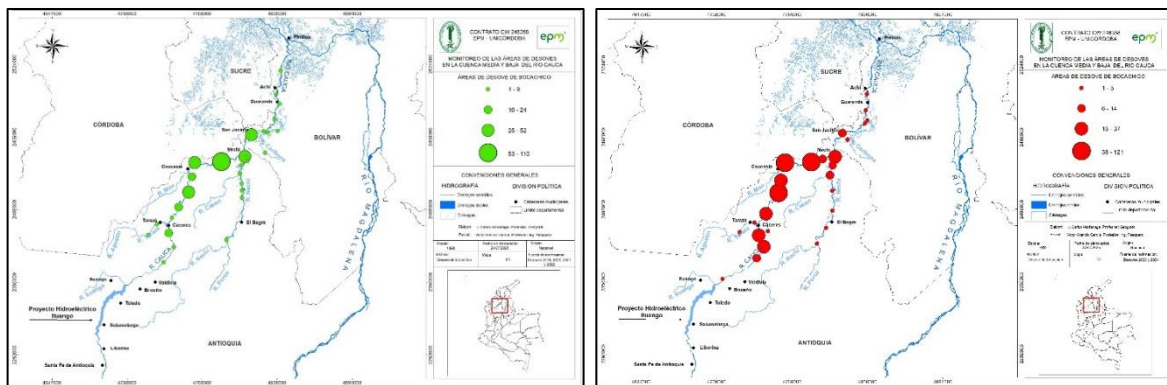


Figura 5: Áreas de desove de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 6, muestra las zonas de desove de bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*). El análisis de los eventos reproductivos de esta especie, evidencia que antes de la operación de las dos primeras turbinas se registraron 333 eventos reproductivos entre las veredas Puerto Antioquia, Tarazá y Buenavista, Achí; sobre el río Cauca. Mientras que en el río Nechí se registraron 48 desoves entre la vereda San Carlos, El Bagre y la cabecera municipal de Nechí, desembocadura del río, y, después de entrar en operación la primera turbina del PHI, se registraron 253 desoves en el río Cauca, desde la vereda Guarumo, Cáceres, hasta la vereda La Raya, San Jacinto del Cauca. Sobre el río Nechí, se detectaron 22 desoves desde la cabecera urbana de Zaragoza, Antioquia, hasta la cabecera urbana de Nechí, su desembocadura. En la quebrada Noa se detectó 1 desove.

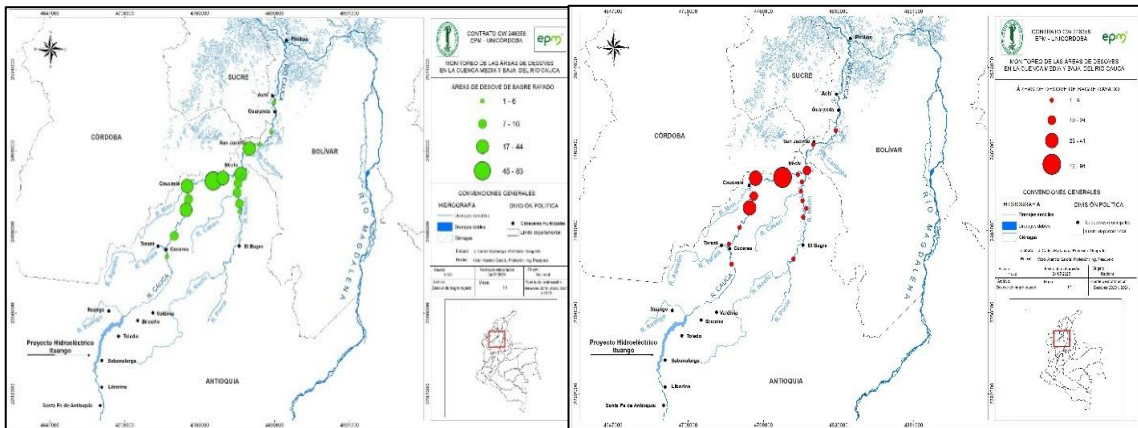


Figura 6: Áreas de desove de bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7, se observan las áreas de desove de bagre sapo (*Pseudopimelodus atricaudus*) durante los periodos de 2019-2022 y 2023-2024. En el periodo 2019-2022 se registraron 18 desoves de esta especie en la vereda Asturias, Cáceres, y en la vereda Galindo, San Jacinto del Cauca. Sobre el río Nechí se detectaron 2 desoves desde la cabecera urbana de Zaragoza hasta la cabecera urbana de El Bagre, Antioquia. En el periodo 2023-2024 se registraron 28 desoves viables en la vereda Astillero, en Valdivia, y en la zona urbana de Guaranda, sobre el río Cauca. En el río Nechí se detectaron 18 desoves entre la cabecera urbana de Zaragoza y la vereda San Pedro de El Bagre, Antioquia.

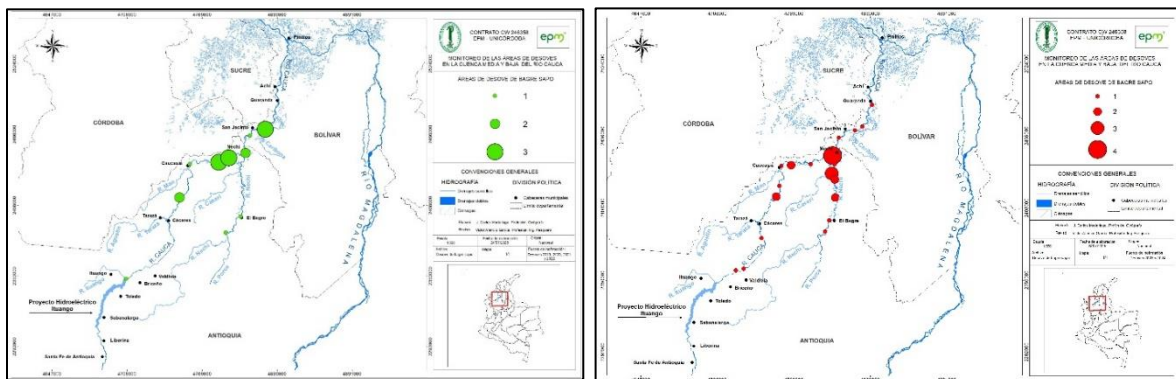


Figura 7. Áreas de desove de la especie bagre sapo (*Pseudopimelodus atricaudus*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 8, muestra las áreas de desove de blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*) durante los dos periodos de evaluación; 2019-2022 y 2023-2024. Durante el periodo 2019-2022 se detectaron 25 desoves, estos se localizaron entre la vereda Guarumo, Cáceres y la zona urbana de Achí en el río Cauca; mientras que en el río Nechí se registraron 5 desoves entre la vereda Vijagual y la Vereda La Esperanza, Nechí. En el segundo periodo 2023-2024, se detectaron 64 desoves de esta especie en la vereda Guarumo, Cáceres, y en la vereda Buenavista, Achí. Para el río Nechí se registraron 4 desoves entre la zona urbana de El Bagre y la vereda San Carlos, también perteneciente a El Bagre.

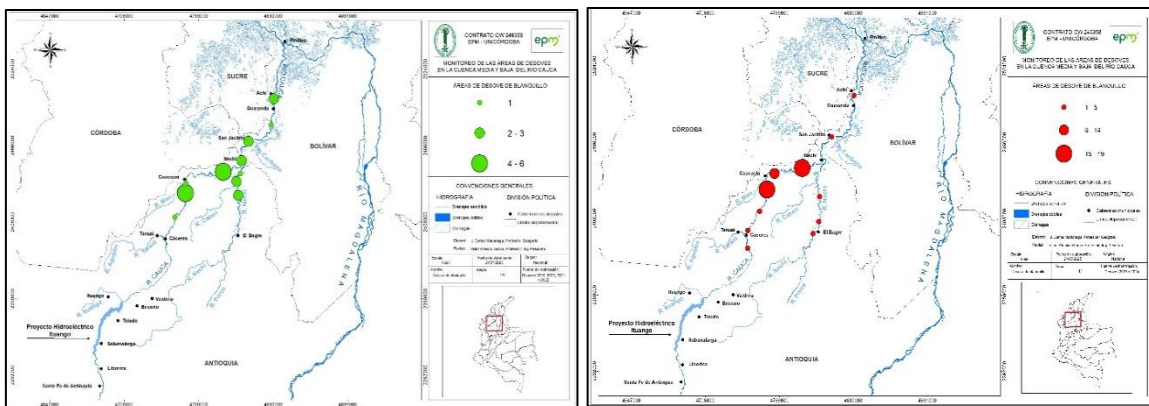


Figura 8. Áreas de desove de la especie de blanquillo (*Sorubim cuspicaudus*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 9, muestra las áreas de desove de vizcaína (*Curimata mivartii*). El análisis de 39 eventos reproductivos durante el primer periodo (2019-2022) muestra que esta especie desovó en la vereda Rioviejo, Caucasia, y en la vereda Santa Mónica, Achí. Mientras que durante el segundo periodo 2023-2024 se detectaron 89 desoves en el río Cauca entre la vereda Río Man, Caucasia y la zona urbana de Guaranda. En el río Nechí se registraron 5 desoves entre la cabecera urbana de El Bagre y la vereda Vijagual, en Nechí.

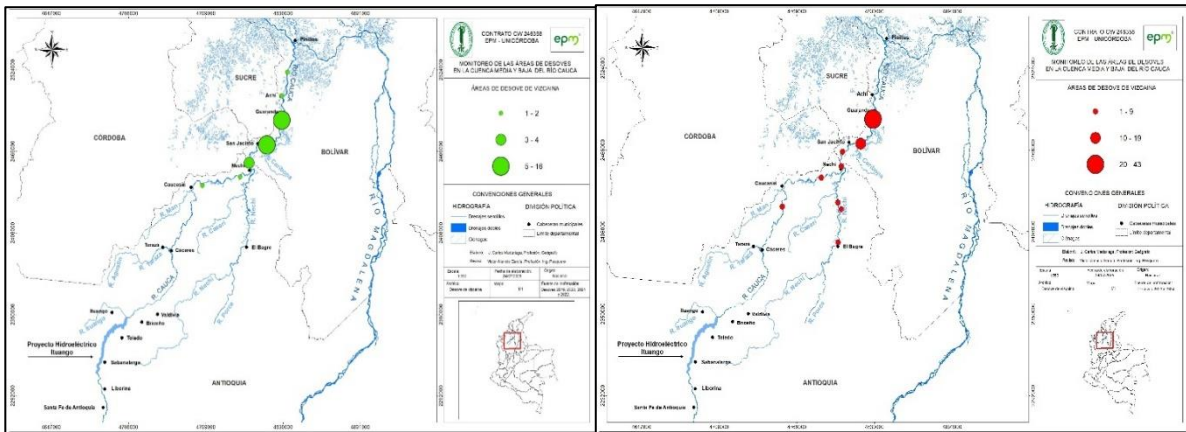


Figura 9: Áreas de desove de la especie de vizcaina (*Curimata mivartii*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 10 muestra las áreas de desove de arenca (*Triporthus magdalенаe*) durante los periodos 2019-2022 y 2023-2024. Durante el periodo 2019-2022 se registraron 3 desoves que ocurrieron entre la zona urbana de San Jacinto (San Jacinto del Cauca) y la zona urbana de Guaranda, y durante el periodo 2023-2024 se registraron 29 desoves entre la cabecera urbana de Cáceres y la cabecera municipal de Guaranda.

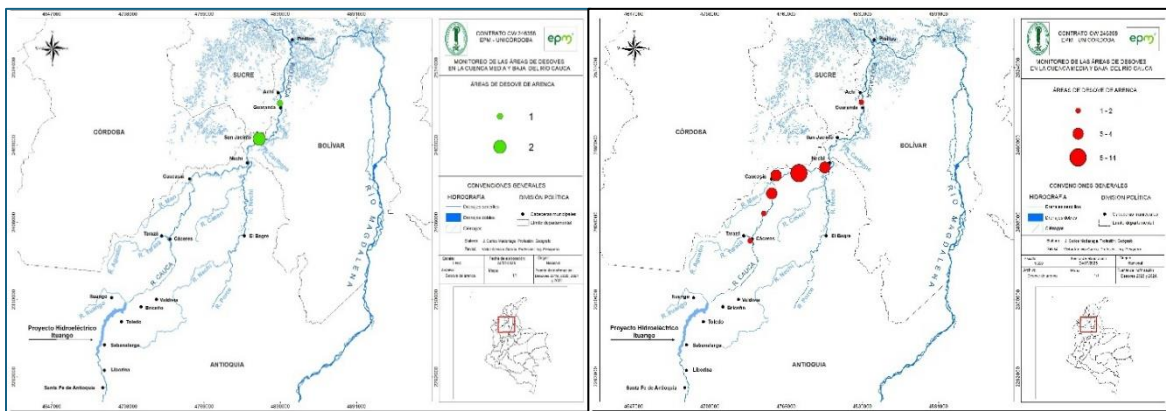


Figura 10. Áreas de desoves de arenca (*Triporthus magdalенаe*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 11 muestra las áreas de desove de brycónidos (*Brycon* sp.) durante los dos periodos de evaluación: 2019-2022 y 2023-2024. Durante el periodo 2019-2022 se

registraron 12 desoves en el río Cauca entre las veredas Guarumo, Cáceres y la vereda México, San Jacinto, y en el río Nechí se presentaron desoves en la vereda San Pedro, El Bagre. Para el segundo periodo, los desoves disminuyeron pasando de 12 en el periodo anterior a 10 desoves; la mayoría de desoves se produjo en el río Cauca, registrando un solo desove en el río Nechí.

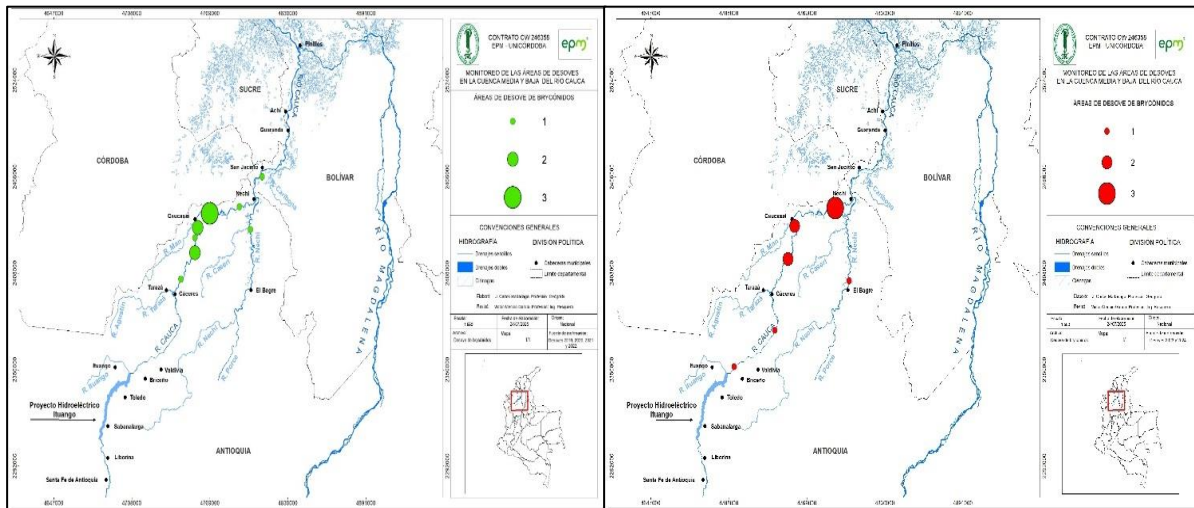


Figura 11. Áreas de desove de brycónidos (*Brycon sp*) en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 12 muestra el comportamiento de las áreas de desove de las nueve especies migradoras antes (2019-2022) y después (2023-2024) de la puesta en marcha de las primeras dos turbinas del PHI. Antes de la puesta en operación de la primera turbina se registraron en total 1298 desoves los cuales ocurrieron principalmente en el río Cauca entre la vereda La América, Valdivia y la vereda Santa Mónica, Achí. Después de entrar en operación, el PHI estimó 1548 desoves, también ocurridos principalmente en el río Cauca entre la vereda Las Agüitas, Ituango y la vereda Santa Mónica, Achí.

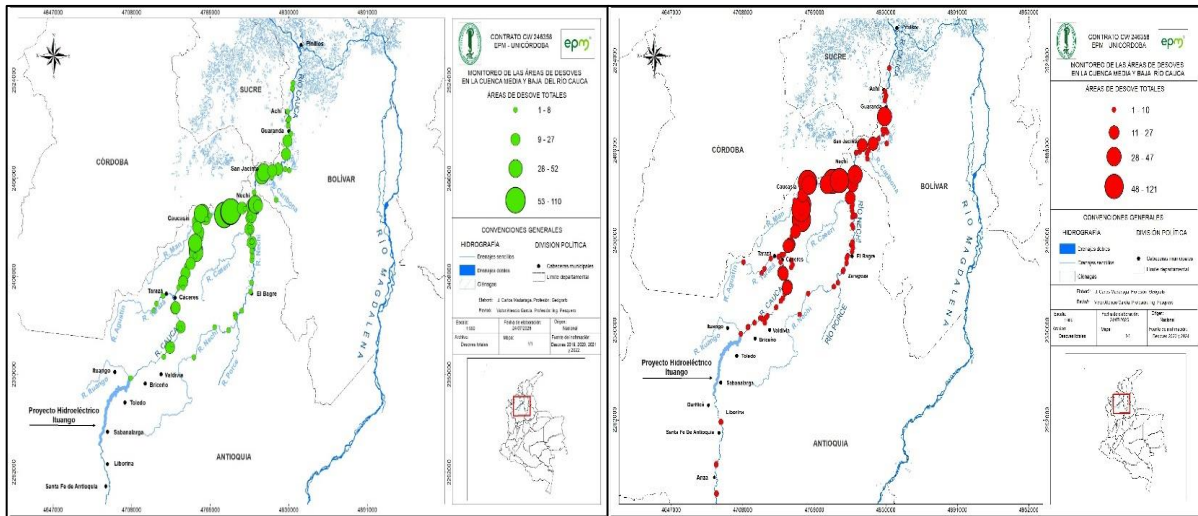


Figura 12: Áreas de desove de nueve especies migradoras en los periodos a) 2019-2022 y b) 2023-2024. Cada círculo corresponde a una zona de desove y su tamaño indica la frecuencia de desoves (F). Fuente: Elaboración propia.

La figura 13, describe el desove por ríos de ambos periodos 2019-2022 y 2023-2024. Durante ambos periodos, la mayor cantidad de desoves se registró en el canal principal del río Cauca, seguida por el río Nechí. Cabe anotar que durante el segundo periodo se registraron desoves en los ríos Espíritu Santo, Man y la quebrada Noa, en los cuales no se observaron desoves en el primer periodo. Lo cual implica una ampliación de las áreas de desove durante el segundo periodo.

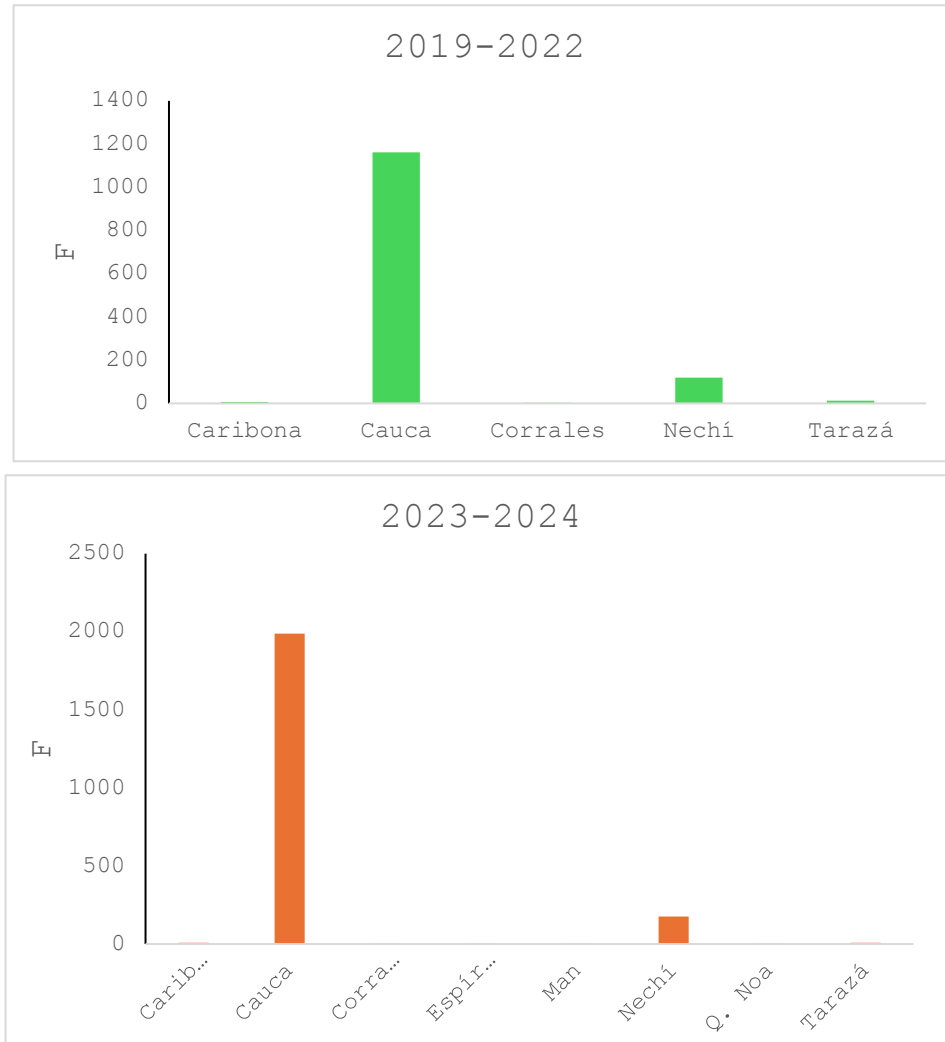


Figura 13: Frecuencia de desoves (F) por ríos durante los dos periodos. a) 2019- 2022 y b) 2023-2024..
Fuente: Elaboración propia

La figura 14, muestra el comportamiento de los desoves de las nueve especies migradoras durante los dos periodos de evaluación. El número de desoves aumentó moderadamente en todas las especies; excepto para los brycónidos. El bocachico, el bagre rayado y el comelón, fueron las especies con más números de desoves en los dos periodos.

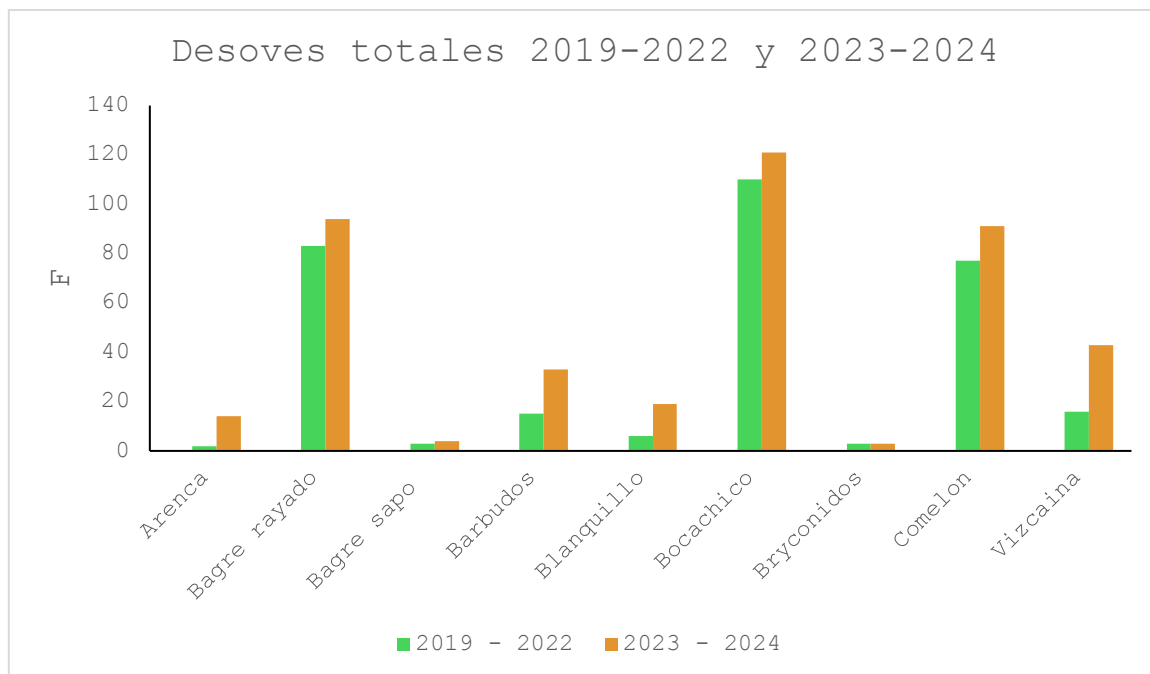


Figura 14: Comportamiento de los desoves totales de las nueve especies durante dos periodos de evaluación: 2019 -2022 y 202 -2024. Fuente: Elaboración propia.

La figura 15, muestra las áreas de desove de nueve especies migradoras del río Cauca antes (2019-2022) y después (2023-2024) de la puesta en la operación la primera turbina del PHI. En el mapa se observa una ampliación moderada de las áreas de desove tras la entrada en operación del PHI. Es importante señalar que durante el segundo periodo se detectaron desoves aguas arriba del PHI y al pie de la presa, en la desembocadura del río Ituango. También se observaron incrementos en el número de desoves en la zona entre Valdivia, Antioquia y Guaranda, Bolívar.

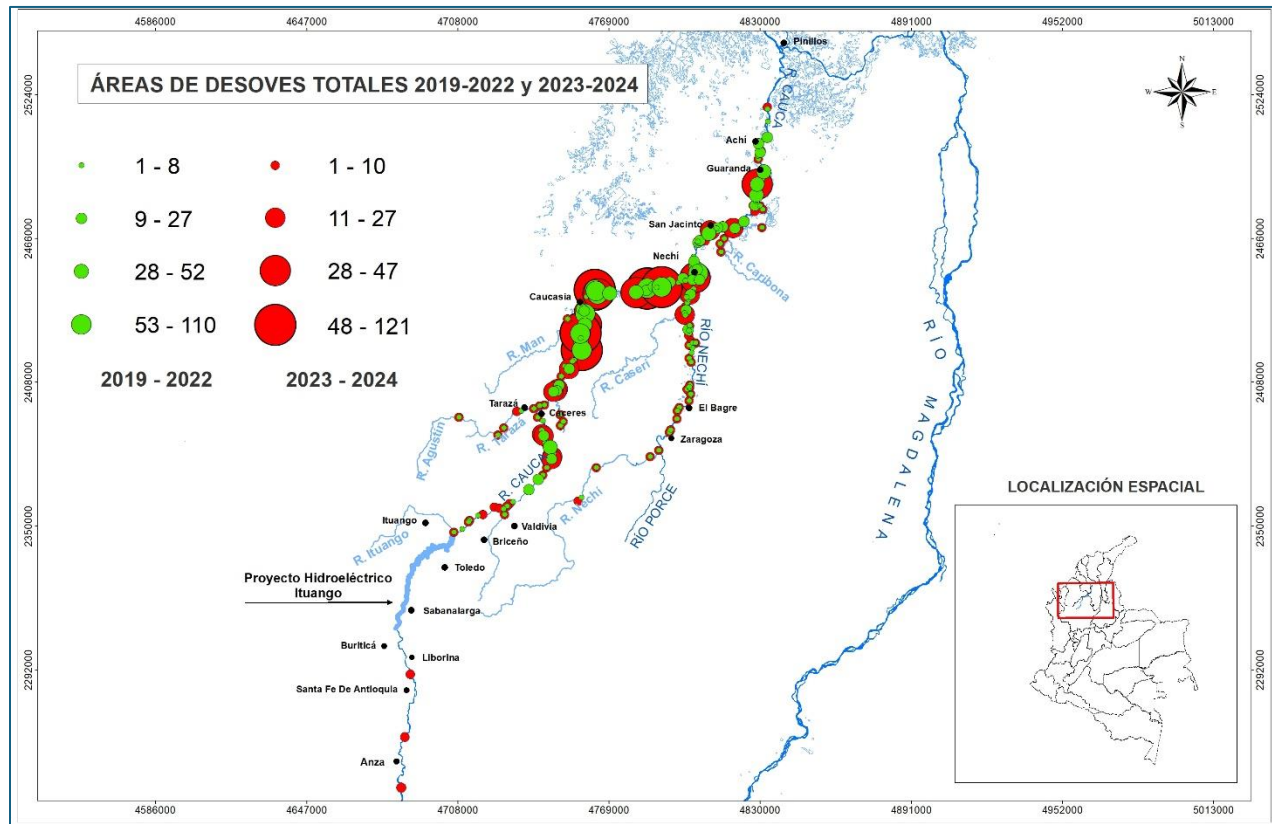


Figura 15: Mapa de áreas de desoves 2019 – 2022 y 2023 – 2024. Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO V

5. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación describen las áreas de desove de los peces migratorios del río Cauca antes y después de la entrada en funcionamiento de la primera y segunda turbina del PHI. Además, se compararon las dinámicas de distribución espacial de las áreas de desove de las nueve especies evaluadas en ambos periodos para identificar posibles alteraciones asociadas a la puesta en marcha de las turbinas generadoras de energía.

Durante la evaluación de ambos periodos, se identificaron cambios moderados en las áreas y en la cantidad de desoves de las nueve especies migradoras de las cuenca media y baja del río Cauca; lo cual coincide con lo sugerido por (Agostinho, Gomes, & Pelicice, 2008), quienes indican que uno de los efectos de los embalses es la alteración en composición y abundancia de especies de peces; lo cual incluye la proliferación de algunas especies y la reducción o incluso la desaparición de otras. Los resultados de la presente investigación evidencian que hubo cambios durante el segundo periodo, el cual registró una distribución espacial más amplia de las áreas de desove, pero se conservaron puntos de desove a lo largo de todo el eje fluvial, incluidas zonas aguas arriba y aguas abajo del Proyecto Hidroeléctrico Hidroituango.

Durante el segundo periodo se presentaron desoves en tres nuevos sitios del río Cauca: río Espíritu Santo, río Man y quebrada Noa. Es decir, los ríos tributarios, aguas abajo del PHI, cobraron importancia como áreas de desoves. Igualmente, en el segundo periodo se registró un aumento moderado en la frecuencia de desoves en ocho de las nueve especies estudiadas, pasando de 1298 en el primer periodo a 1548 en el segundo.

Los barbudos y comelón aumentaron levemente los sitios de desove, puesto que ambas especies registraron desove aguas arriba del PHI durante el segundo periodo. Bocachico también aumentó moderadamente los sitios y la cantidad de desove tanto en el río Cauca como en el río Nechí. El bagre rayado, el bagre sapo, el banquillo, la vizcaína, la arenca y los brycónidos mantuvieron su área de desove durante ambos periodos, pero aumentaron levemente el número de desoves en el segundo periodo.

(Poff, Olden, Merrit, & Pepin, 2007) describen que la formación de un embalse dentro del cauce de un río genera cambios en su estructura física y en su dinámica hidrológica, y como resultado de su interacción, en la biota que lo habita. En este sentido, el incremento moderado en las áreas de desove y en la cantidad de desoves en el segundo periodo puede atribuirse a los picos de caudal (hydropeaking) que se producen cuando se ponen en funcionamiento las turbinas para generar energía. Estos aumentos de caudal facilitan el paso de los peces por los sectores del río donde existen rápidos (*rapids*) que actúan como barreras naturales para la migración de peces como los que se encuentran entre Palestina (Briceño) y Puerto Valdivia (Valdivia), conocidos como Los Chorros. Se sugiere que, antes de la generación, en el primer periodo, los picos de caudales naturales arriba del embalse eran atenuados por el embalse y el paso por los rápidos se convertían en un obstáculo para la migración de los peces. También se sugiere que los hydropeaking de generación se convierten en estímulos ambientales para inducir la reproducción de los peces. Es conocido que uno de los estímulos finales para la reproducción son los picos de caudal (Kerguelen-Durango & Atencio-García, 2015).

Los resultados de desove por ríos demuestran que el río Cauca concentra más del 90% de los desoves registrados, mientras que el río Nechí presenta una participación

secundaria pero creciente. Los tributarios, como los ríos Caribona, Espíritu Santo y Tarazá, en el segundo periodo, comenzaron a tener importancia como áreas de desove. Algunos autores han sugerido que en los ríos embalsamados los tributarios juegan un papel importante en la dinámica reproductiva de los peces migratorios del Neotrópico (Marques et al., 2018; Silva et al., 2019); por tanto, es importante su conservación.

De acuerdo con lo anterior, esta investigación se relaciona con el enfoque de los servicios ecosistémicos, porque demuestra que posterior a la puesta en marcha de las primeras turbinas, hay una regulación hidrológica, es decir, se regula el flujo del agua, lo que trajo como consecuencias una moderada ampliación de las áreas de desove, esto implica que los caudales mínimos o ecológicos se están manteniendo estable, lo cual favorece la migración y el desove de los peces.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES

El incremento moderado en las áreas de desove y en la cantidad de desoves en el segundo periodo puede atribuirse a posibles aumentos de caudal (hydropeaking) cuando entraron en funcionamiento las turbinas para generar energía eléctrica. Estos aumentos de caudal, además de servir como estímulo final para el desove, permitieron que algunas especies desovaran más cerca de la presa.

La evaluación de las áreas de desove de las principales especies migradoras de la cuenca media y baja del río Cauca, antes de la puesta en marcha de la primera y segunda turbina (2019-2022) y después de la entrada en operación (2023-2024), muestra que las áreas de desove registraron un leve incremento después de la entrada en operación de las turbinas de generación.

Los análisis de los eventos reproductivos durante los dos periodos 2019-2022 y 2023-2024, muestran un leve aumento en la frecuencia de los desoves de comelón *Megaleporinus muyscorum*, barbudos *Pimelodus sp*, bocachico *Prochilodus magdalenae*, bagre rayado *Pseudoplatystoma magdalenietum*, bagre sapo *Pseudopimelodus atricaudus*, blanquillo *Sorubim cuspicaudus*, vizcaína *Curimata vimartii* y arenca *Tripottheus magdalenae*.

Las condiciones hidrológicas del río Cauca, tras la puesta en marcha de la primera y la segunda turbina, no han alterado significativamente las áreas de desove en el río Cauca aguas abajo de Hidroituango. Mientras que la frecuencia de desoves por ríos, muestra que el río Cauca concentra la mayor proporción de desoves, consolidándose como el eje reproductivo principal de la cuenca. El río Nechí, aunque con un menor aporte, muestra una

tendencia creciente en el número de eventos. Se resalta la importancia de los tributarios y de los hábitats locales como zonas de refugio y de reproducción alternativa.

CAPITULO VII

7. RECOMENDACIONSES

Si bien aún quedan retos asociados al fortalecimiento de los habitats de especies de peces migratorios en el río Cauca, y temas relacionados a un plan de manejo ambiental en el embalse de Hidroituango, estos temas se pueden equilibrar para lograr políticas que aseguren un equilibrio sostenible entre desarrollo hidroeléctrico y biodiversidad acuática, lo que ayuda a lograr una resiliencia de las poblaciones icticas frente a los cambios hidrológicos inducidos por la infraestructura hidroeléctrica.

Referencias

- Ingfocol Ltda. (2015). *HIDROENERGÍA*. Obtenido de Ingfocol Ltda:
https://www1.upme.gov.co/Energia_electrica/Atlas/Atlas_p25-36.pdf
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., & Pelicice, F. (2008). *Las represas y la fauna de peces de la región neotropical: impactos y manejo relacionados con la diversidad y las pesquerías*. Obtenido de Braz. J. Biol. 68 (4 suppl):
<https://www.scielo.br/j/bjb/a/5ycwcWLBLM6jN9gMQMcysdK/?format=html&lang=en>
- Agostinho, A., Gómez, L., Suzuki, I., & Julio, H. (2003). Migratory fishes of the Upper Paraná. 19-98.
- Arango, G., García, L., Jaramillo, A., Álvarez, F., Bustamante, J., Cárdenas, A., . . . Mercado, T. (2022). *Marcaje y recaptura de peces en el área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Ituango. V1.3*. Obtenido de Empresas Públicas de Medellín E.S.P.: <https://doi.org/10.15472/dkg3hw>
- Atencio Garcia, V. (2 de Julio de 2005). *Régimen alimentario de siete especies ícticas en el embalse de la hidroeléctrica Urrá (Córdoba, Colombia)*. Obtenido de Revista MVZ Córdoba, vol. 10, núm. 2: <https://www.redalyc.org/pdf/693/69310203.pdf>
- Atencio, G. V. (2000). Impactos de la hidroeléctrica Urrá en los peces migratorios del río Sinú. *Revista Temas Agrarios*, 29-40.
- Bertrán, P., Rueda, E., & Sánchez, S. (2022). *Abundancia de larvas de Pseudoplatystoma sp en el río Bermejo*. Obtenido de XLII SESIÓN DE COMUNICACIONES CIENTÍFICAS:
https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/55019/RIUNNE_FVET_AC_Bertran-Rueda-Sanchez.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Binder, T., Cooke, S., & Hinch, S. (2011). *PHYSIOLOGICAL SPECIALIZATIONS OF DIFFERENT FISH GROUPS*. Obtenido de From Genome to Environment, volume 3, pp. 1921–1927. Elsevier Inc.: <https://www.fecpl.ca/wp-content/uploads/2013/06/Binder-et-al-2011-book-chapter.pdf>
- Cáceres, A. d. (2020). *Evaluación de la abundancia espacial y temporal del ictioplancton en la zona de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay*. Obtenido de Universidad Nacional del Nordeste:
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/188085/Aplicaciones-del-marcaje-percepciones-para-su-uso-sobre-la-conservacion-en-peces-de-arrecife.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castillo, Y. (2015). *Rol de las Fuentes No Convencionales de Energía en el sector eléctrico Colombiano*. Obtenido de Prospect, 13, 39-51:

https://www.elcolombiano.com/historico/en_recursos_hidricos_colombia_sigue_como_uno_de_los_paises_

Chen, Q., Li, Q., Lin, Y., & Zhang, J. (2023). Impactos de la represa del río en el hábitat de los peces y asociados, medidas de conservación . *Reseñas de Geofísica*, 2-73.

Contraloría General De La República . (Julio de 2019). *HIDROITUANGO*. Obtenido de INFORME DE ACTUACION ESPECIAL Control excepcional a los recursos del proyecto de generación eléctrica: <https://riosvivoscolombia.org/wp-content/uploads/2019/09/HIDROITUANGO-Informe-de-actuaci%C3%B3n-especial-Contraloria-Agosto-2019-.pdf>

Costanza, R., De Groot, R., & Farber, E. (Mayo de 1997). *El valor de los servicios ecosistémicos y el capital natural del mundo*. Obtenido de *Naturaleza*, 387: <https://www.nature.com/articles/387253a0>

DECRETO No..1729. (2002). *CUENCAS HIDROGRAFICAS* . Obtenido de ANLA : https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/decretos/dec_1729-2002_define_cuencas_hidrograficas.pdf

EPM. (2019). *Informe de gestión de la contingencia del Proyecto Hidroeléctrico Ituango*. Obtenido de Empresas Públicas de Medellín : <https://www.epm.com.co/content/dam/epm/institucional/documentos/todos/informe-de-gestion-completo.pdf>

EPM. (2022). *Unidades 1 y 2 de Hidroituango cumplieron todos los requisitos para la entrada en operación comercial*. Medellín : EPM.

EPM. (Junio de 2024). *EPM y la Universidad de Córdoba trabajan para proteger peces, en la cuenca del río Cauca, usando chips de radio telemetría y otras tecnologías*. Obtenido de Empresas Públicas de Medellín : <https://www.epm.com.co/institucional/sala-de-prensa/noticias-y-novedades/epm-y-universidad-de-cordoba-trabajan-para-proteger-peces-en-el-rio-cauca-con-chips/>

Fraume, N. (2014). *ABECEDARIO ECOLÓGICO. LA MAS COMPLETA GUIA EN TERMINOS AMBIENTALES* . EDITORIAL FUNDACIÓN HOGARES JUVENILES CAMPESINOS LTDA.

Hernández Herrera, J. A. (2025). Recursos Bioticos De La Sierra Del Astillero VOL 1. *Universidad de Juárez del estado de Durango*, 39 - 58.

Hernández, E., Solis, L., & Buitrago, M. (2015). *Fotoperiodo y Ontogenia Inicial de Peces Migratorios en Brasil con Énfasis en Sábalo (Prochilodus lineatus)*. Obtenido de Programa de Pós-graduação em Ciências Veterinárias, Laboratório de Fisiologia e

- Farmacología, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brazil :
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rivep/v27n1/a01v27n1.pdf>
- Huamani Mantari, S. (2019). *Habilidades de investigación pedagógica en los docentes de primaria*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES:
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/>
- Hutchinson, G. E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415–427.
- Jiménez, L., Restrepo, D., Garcia, L., Torres, A., & Jaramillo, U. (2018). *Peces dentro de túneles de descarga de una central hidroeléctrica del río Porce*. Obtenido de Actualidades Biológicas 40 (108): 97-102, 2018 :
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/actbio/article/view/333844/20789837>
- Jiménez-Segura, L. F., Restrepo-Santamaría, D., López-Casas, S., Delgado, J., Valderrama, M., Álvarez, J., & Gómez, D. (2014). *Ictiofauna y desarrollo del sector hidroeléctrico en la cuenca del río Magdalena-Cauca, Colombia*. Obtenido de Biota Colombiana, vol. 15, núm. 2, julio-diciembre:
<https://www.redalyc.org/pdf/491/49140782002.pdf>
- Kanickaraj, L. (2 de Enero de 2018). *Definición de sistemas de información geográfica (SIG)*. Obtenido de ARC Advisory Group :
<https://www.arcweb.com/blog/geographic-information-systems-gis-defined>
- Katopodis, C. (1989). Guide to Fishway Design. *Freshwater Institute, Dept. of Fisheries and Oceans-Central and Arctic Region, Winnipeg, Manitoba*.
- Kjaerland, F., Kumm, M., & Varis, O. (2007). A real option analysis of investments in hydropower . *the case of Norway.*, 5901–5908.
- Kuriqi, A., A, P., Sordo, W. A., Bejarano, M., & Garrote, L. (MAYO de 2021). *Ecological impacts of run-of-river hydropower plants—Current status and future prospects on the brink of energy transition*. Obtenido de *enewable and Sustainable Energy Reviews*:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032121001271?via%3Dihub>
- LEY 99. (22 de Diciembre de 1993). *Ley 99 de 1993* . Obtenido de Gestor normativo, Gobierno de Colombia :
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>
- Medina, J. (24 de junio de 2021). *AFECTACIÓN AMBIENTAL POR LA CONSTRUCCIÓN DE LA OBRA HIDROELÉCTRICA HIDROITUANGO POR MEDIO DE IMÁGENES LANDSAT8*. Obtenido de Universidad Nueva Granada:

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/c8540b7b-4edf-498e-bd4f-a1447d3cd644/content>

- Ministerio de Ambiente . (2023). *Colombia Riqueza Hidrica* . Obtenido de Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Colombia :
<https://www.minambiente.gov.co/colombia-riqueza-hidrica-del-mundo/>
- Miranda, G., & Venticinque, E. (2022). *Identificación de potenciales zonas de desove del dorado (Brachyplatystoma rousseauxii) en la cuenca Madeira* . Obtenido de Neotropical Hydrobiology and Aquatic Conservation (2022) Vol. 3 (1): 91-103:
https://editorial-inia.com/wp-content/uploads/2022/11/NHAC_027_Miranda_2022.pdf
- Morita, K., & Yamamoto, S. (2002). Effects of habitat fragmentation by damming on the persistence of stream-dwelling charr populations. *Conservation Biology*, 1318–1323.
- Ochoa Aristizábal, A., & Marquez, E. (abril de 2024). *Genetic insights into Cyphocharax magdalenae (Characiformes: Curimatidae): Microsatellite loci development and population analysis in the Cauca River, Colombia* . Obtenido de PLoS One:
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11020439/?utm_source
- Olaya, E., Lemus, C., Echavarría, M., Chaparro, O., Roa, C., Salazar, S., & Barrios, M. (2022). *Diferencias en el tamaño corporal y la abundancia de peces altoandinos, arriba y abajo de la represa Neusa, Colombia*. Obtenido de Revista de Biología Tropical, ISSN: 2215-2075 Vol. 70: 464-481, January-December 2022:
<https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v70n1/0034-7744-rbt-70-01-464.pdf>
- Oldani, N., Baigún, C., & Brancolini, F. (Diciembre de 2022). *Ecología de peces migratorios de los tramos inferiores de los ríos Paraná y Uruguay, una revisión*. Obtenido de @rchivos de Ciencia y Tecnología – N 1: <https://fcyt.uader.edu.ar/wp-content/uploads/2023/12/Oldani-Baigun-Brancolini.pdf>
- ONU. (1992). *Convenio d diversidad biologica*. Obtenido de Organización de naciones unidas : <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- ONU. (2001). *Evaluación del Milenio de los Ecosistemas (EME)*. Obtenido de Comisión Económica para América Latina y el Caribe:
<https://www.cepal.org/es/noticias/especialistas-destacan-la-importancia-servicios-ecosistemas-desarrollo-sostenible-la>
- ONU. (2015). *Objetivos de desarrollo sostenible ODS*. Obtenido de ORGANIZACION DE NACIONES UNIDAS ONU:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- Padovani, L., Machinandarena, L., Betti, P., & Leonarduzzi, E. (2024). *Ictioplancton en el área reproductiva de la caballa (Scomber colias) próxima a Mar del Plata*. Mar de plata, Argentina: (Informe de Investigación, No. 60). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Obtenido de <https://marabiertonew.inidep.edu.ar/server/api/core/bitstreams/b986dcc3-3ad3-4655-9971-2e379e6aeb50/content>
- Poff, N., Olden, J., Merritt, D., & Pepin, D. (3 de Abril de 2007). *Homogenization of regional river dynamics by dams and global biodiversity implications*. Obtenido de Pnas.org: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0609812104>
- Rangel Soto, B. (2021). *ESTADO Y DESEMPEÑO DE LA LISETA Megaleporinus muyscorum (STEINDACHNER, 1900) EN EL EMBALSE DE URRÁ Y SU ÁREADEINFLUENCIA (ALTO SINÚ, COLOMBIA)*. Obtenido de Repositorio Institucional, Universidad de Córdoba. Colombia : <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/153d54ae-a766-4609-b582-ddf1889cc81d/content>
- Restrepo, D., Valencia, D., Galeano, A., Herrera, J., & Jiménez, L. (2022). *Rescate de peces aguas abajo de la presa Porce III (Colombia) para reducir su mortalidad*. Obtenido de Biota Colombiana Volumen 23, Número 2, 1 de abril de 2022, Número de artículo e1030: <https://orcid.org/0000-0002-6946-8950>
- Restrepo, M., & Maetzke, F. (2019). *Afectaciones socioambientales en las zonas aguas abajo de grandes represas hidroeléctricas, casos de estudio Hidroituango y La Miel*. Obtenido de Universidad de Antioquia, Facultad de Ingenierías: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/f0b14a6a-a68b-4a6f-8ee3-b01d9f0fdc47/content>
- Rodriguez Graña, L. (Diciembre de 2015). *Ictioplancton - Huevos y larvas de peces, su aporte al conocimiento de estuarios y océanos*. Obtenido de Uruguay Ciencia - N°21: https://uruguay-ciencia.com/articulos/UC21/UC_N21_Ictioplancton.pdf
- Rojas, R., & Garcia, C. (2022). *Aspectos de la reproducción de Plagioscion magdalenae (Pisces: Sciaenidae) en el embalse El Guájaro, bajo Magdalena, Colombia*. Obtenido de Biota Colombiana 23 (1): <http://www.scielo.org.co/pdf/biota/v23n1/2539-200X-biota-23-01-e206.pdf>
- Skov, C., Brönmark, C., Hulthén, k., Nilsson, P., Hansson, L., Brodersen, J., & Chapman, B. (2013). There and back again: migration in freshwater fishes. *Canadian Journal of Zoology*, 467-479.
- Thompson Poo, D. C. (Abril de 2019). *Seminario virtual "Agregaciones de desove de peces y experiencias de regulación"*. Obtenido de AIDA :

americas.org/es/evento/seminario-virtual-agregaciones-de-desove-de-peces-y-experiencias-de-regulacion

Vannote, R. (1980). River Continuum Concept (RCC). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130–137.

Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Quito, Ecuador : Editorial Abya-Yala .

Villamil, J., Cortés, L., & Rodríguez, J. (2018). *Generalidades sobre la migración de bagres amazónicos de la familia Pimelodidae y su relación con los ciclos hidrológicos*. Obtenido de Instituto de Acuicultura, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v22n2/0121-3709-rori-22-02-00224.pdf>

Wolf, D., López, S., & Jiménez, L. (2019). *Efectos de la generación de energía hidroeléctrica en la reproducción de Prochilodus magdalenae (Prochilodontidae): evidencia de la respuesta endocrina*. Obtenido de Revista MVZ Córdoba : <https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/1606>

WWF. (19 de Abril de 2022). *Convención sobre la conservación de las especies migratorias de animales silvestres* . Obtenido de “WHMSI - Migratory Species: Biological, Cultural, and Economic Assets of the Americas”: <https://www.wwf.org.mx/?376351/Feliz-Dia-de-los-Peces-Migratorios>

Xiaoyan, L., Shikui, D., Qinghe, Z., & Shiliang, L. (2010). Impacts of Manwan Dam construction on aquatic habitat and community in Middle Reach of Lancang River. *Procedia Environmental Sciences*, 706–712.

Zapata, A., & Rivera, C. (22 de MARZO de 2024). *Peces del río Cauca, vulnerables a los cambios climáticos globales*. Obtenido de PESQUIZA JAVERIANA: <https://www.javeriana.edu.co/pesquisa/peces-rio-cauca-vulnerables/#:~:text=Preguntarse%20por%20el%20r%C3%ADo%20Cauca,residual es%20dom%C3%A9sticas%20industriales%20o%20agr%C3%ADcolas.>

Kerguelén-Durango E, Atencio-García VJ. Environmental characterization of the reproductive season of migratory fish of the Sinú river (Córdoba, Colombia). *Rev. MVZ Córdoba* 2015; 20(3): 4766-4778. <https://doi.org/10.21897/rmvz.46>

Silva, P. S., Miranda, L. E., Makrakis, S., de Assumpção, L., Dias, J. H. P., & Makrakis, M. C. (2019). Tributaries as biodiversity preserves: an

ichthyoplankton perspective from the severely impounded upper Paraná River. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29, 258–269. <https://doi.org/10.1002/aqc.3037>

Marques, H., Dias, J. H. P., Perbiche-Neves, G., Kashiwaqui, E. A. L., & Ramos, I. P. (2018). Importance of dam-free tributaries for conserving fish biodiversity in Neotropical reservoirs. *Biological Conservation*, 224, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.05.027>

CAPÍTULO VII

7. ANEXOS

Anexo 1. Georreferenciación de las áreas de desove de comelón (*Megaleporinus muyscorum*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	Frecuencia de desoves (n)	COORDENADA - Y	COORDENADA - X
1	Cauca	32,5	1	2360408.207	4733000.173
2	Cauca	42,4	5	2367615.848	4739331.573
3	Cauca	54,4	4	2377164.887	4745800.422
4	Cauca	69,5	16	2389515.523	4742174.000
5	Cauca	90,8	9	2404632.195	4747889.718
6	Cauca	106,7	18	2415592.544	4753759.901
7	Cauca	120,6	46	2427699.095	4757179.429
8	Cauca	132,4	15	2436955.850	4758948.118
9	Cauca	143,6	37	2445097.416	4761771.965
10	Cauca	173,4	77	2446339.798	4784857.230
11	Cauca	183,1	14	2448429.679	4793575.880
12	Cauca	197,2	42	2450456.081	4803932.296
13	Cauca	223,1	48	2469470.584	4810499.794
14	Cauca	235	10	2471391.034	4821729.846
15	Cauca	247,3	12	2480370.932	4828002.353
16	Cauca	270	7	2500782.226	4829804.728
17	Cauca	293,1	1	2519513.484	4832912.998
18	Nechí	5,6	9	2449817.925	4806136.069
19	Nechí	15,7	5	2442864.045	4800340.396
20	Nechí	26,5	4	2434872.231	4799989.384
21	Nechí	34,5	5	2428441.291	4801362.417
22	Nechí	49,4	1	2419807.514	4801764.020
23	Nechí	68,6	1	2404170.961	4801253.365
24	Nechí	91,1	1	2387590.830	4793536.589
25	Nechí	116,9	1	2376134.482	4783344.692
26	Nechí	133,1	1	2377935.197	4772500.470
27	Nechí	162,3	1	2360114.059	4756442.288
28	Caribona	20,4	2	2471397.884	4827247.312
29	Caribona	38,9	1	2466653.928	4816752.243
30	Corrales	2,9	1	2401351.917	4747928.166
31	Tarazá	6,8	3	2396519.333	4732421.425
32	Tarazá	15,3	3	2391839.125	4727258.999

Anexo 2. Georreferenciación de las áreas de desove de comelón (*Megaleporinus muyscorum*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.

ID	RÍO	DISTANCIA	DESOVE (F)	COORDENADA_X	COORDENADA_Y
1	Cauca	22,7	1	4724810.878	2357297.652
2	Cauca	38,8	8	4736528.955	2364673.849
3	Cauca	54,3	11	4745763.814	2377067.356
4	Cauca	66,1	22	4742525.423	2386389.090
5	Cauca	89,3	13	4746523.857	2404281.297
6	Cauca	104,4	17	4752883.468	2413542.709
7	Cauca	119,5	66	4757527.488	2427899.372
8	Cauca	132,4	15	4759012.451	2436880.213
9	Cauca	147,7	47	4764479.411	2443746.299
10	Cauca	167,3	31	4779972.534	2444329.688
11	Cauca	179,2	91	4790240.980	2446470.364
12	Cauca	197,3	36	4803733.145	2450241.588
13	Cauca	223,6	24	4809758.692	2469331.937
14	Cauca	246,7	1	4827914.749	2479572.372
15	Cauca	258,6	2	4831260.953	2490782.799
16	Cauca	270,4	8	4829363.701	2504183.403
17	Cauca	293,1	1	4833020.030	2519142.496
18	Nechí	8,4	4	4803916.293	2447832.529
19	Nechí	14	9	4801827.660	2443464.921
20	Nechí	28,8	6	4799441.898	2435971.065
21	Nechí	31,7	3	4801506.885	2430979.625
22	Nechí	42,6	4	4802777.349	2423872.159
23	Nechí	65	1	4801348.932	2406233.457
24	Caribona	4,7	2	4831050.557	2477740.501
25	Caribona	15,8	1	4830733.856	2470509.554
26	Caribona	41,3	1	4815462.812	2466091.417
27	Corrales	15,3	2	4749315.003	2395092.196
28	Corrales	20,6	2	4750456.042	2392216.323
29	Tarazá	7,4	1	4731854.194	2396349.803
30	Tarazá	47,3	1	4708512.910	2394007.491
31	Man	13,5	1	4752301.368	2433649.282

Anexo 3. Georreferenciación de las áreas de desove de barbudos (*Pimelodus yuma*.) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	67,1	1	2387165.682	4741922.176
2	Cauca	91,7	5	2405417.436	4748314.986
3	Cauca	102,1	3	2414565.088	4751103.202
4	Cauca	120,9	4	2427986.038	4757508.448
5	Cauca	133,5	1	2437592.761	4758059.629
6	Cauca	149,2	9	2442039.478	4765498.207
7	Cauca	174,8	15	2446670.779	4786190.268
8	Cauca	200,2	2	2453139.294	4804728.658
9	Cauca	222,8	1	2469464.696	4810197.038

Anexo 4. Georreferenciación de las áreas de desove de barbudos (*Pimelodus yuma*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358

ID	RÍO	ESPECIE	Distancia (Km)	DESOVE (F)	COORDENADA _X	COORDENADA_ Y
1	Cauca	Barbudos	0,0	1	4706360.790	2347604.205
2	Cauca	Barbudos	14,5	1	4718064.482	2354694.339
3	Cauca	Barbudos	26,5	1	4727761.071	2358001.670
4	Cauca	Barbudos	46,6	2	4742282.234	2370569.774
5	Cauca	Barbudos	56,7	2	4746504.177	2379333.509
6	Cauca	Barbudos	68,6	6	4741819.391	2388650.208
7	Cauca	Barbudos	91,6	21	4748314.986	2405417.436
8	Cauca	Barbudos	114,6	24	4758039.463	2421744.161
9	Cauca	Barbudos	124,1	33	4758735.759	2430128.731
10	Cauca	Barbudos	144,5	20	4762600.319	2445382.230
11	Cauca	Barbudos	172,8	17	4784496.136	2446008.841
12	Cauca	Barbudos	199,7	2	4804728.658	2453139.294
13	Cauca	Barbudos	217,2	1	4807839.204	2465152.417
14	Cauca	Barbudos	227,0	1	4829614.525	2500481.264
15	Cauca	Barbudos	247,6	2	4827303.174	2479345.046

16	Nechí	Barbudos	22,7	3	4799838.858	2438625.033
17	Nechí	Barbudos	36,4	3	4801197.746	2426942.404
18	Nechí	Barbudos	67,3	2	4800543.832	2405211.845
19	Nechí	Barbudos	113,1	1	4785704.665	2378120.910
20	Nechí	Barbudos	143,7	1	4763843.225	2373627.189
21	Nechí	Barbudos	162,2	1	4756493.091	2360154.576
22	Caribona	Barbudos	51,8	1	4814283.096	2460618.843
23	Tarazá	Barbudos	22,1	2	4724113.210	2386842.588
24	Espíritu Santo	Barbudos	7,3	1	4726820.148	2354743.332

Anexo 5. Georreferenciación de las áreas de desove de bocachico (*Prochilodus magdalenae*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	40	9	2365867.458	4737705.857
2	Cauca	55,3	9	2378013.633	4746073.376
3	Cauca	69,2	23	2389242.257	4741893.114
4	Cauca	85,1	5	2401488.735	4744486.664
5	Cauca	96,7	14	2409825.845	4749901.231
6	Cauca	114,6	37	2421744.161	4758039.463
7	Cauca	129	24	2434134.127	4760536.100
8	Cauca	144,8	52	2445372.142	4762954.244
9	Cauca	173	110	2446090.756	4784557.207
10	Cauca	196,9	49	2450241.588	4803733.145
11	Cauca	220,6	38	2467671.840	4809119.630
12	Cauca	231,9	2	2470345.570	4819064.777
13	Cauca	247	7	2480069.830	4827963.619
14	Cauca	260,6	1	2492395.249	4831819.660
15	Cauca	269,5	2	2500413.460	4829473.342
16	Cauca	292,4	1	2518817.742	4832893.912
17	Nechí	6	6	2449436.412	4805543.135
18	Nechí	14,6	9	2443503.735	4801245.458
19	Nechí	24,6	8	2436469.455	4799681.224
20	Nechí	34,2	6	2428785.390	4801185.912
21	Nechí	44,4	3	2423130.879	4801375.028
22	Nechí	52,9	1	2417386.403	4801409.518
23	Nechí	103	1	2383665.838	4788763.704

24	Caribona	16,1	1	2470681.295	4830425.732
25	Caribona	27,7	1	2469526.092	4822337.465
26	Caribona	69,1	1	2453309.104	4820192.975
27	Tarazá	7	5	2396487.173	4732343.363
28	Tarazá	20,4	1	2387692.319	4725263.215

Anexo 6. Georreferenciación de las áreas de desove de bocachico (*Prochilodus magdalenae*.) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358

ID	RÍO	DISTANCIA	DESOVE (F)	COORDENADA_X	COORDENADA_Y
1	Cauca	8,9	1	4712690.063	2352253.362
2	Cauca	44	9	4740393.056	2368793.89
3	Cauca	55,8	25	4746073.376	2378013.633
4	Cauca	66,9	27	4741922.176	2387165.682
5	Cauca	90,7	27	4747820.433	2404557.681
6	Cauca	114,8	70	4757983.232	2421162.681
7	Cauca	126,5	36	4759933.253	2431253.723
8	Cauca	146,4	73	4763197.561	2445336.042
9	Cauca	173,0	121	4784434.736	2445933.603
10	Cauca	183,1	14	4793568.531	2448431.904
11	Cauca	196,9	37	4803733.145	2450241.588
12	Cauca	222,5	10	4809704.642	2469125.852
13	Cauca	244,9	4	4827893.141	2476933.362
14	Cauca	255,8	2	4828537.073	2487426.468
15	Cauca	269,5	3	4829614.525	2500481.264
16	Nechí	14,4	11	4801740.389	2443473.581
17	Nechí	25,7	11	4799542.616	2435427.961
18	Nechí	44,6	5	4801347.963	2423003.932
19	Nechí	64,8	1	4801627.581	2406922.003
20	Nechí	83,5	1	4796472.609	2393263.989
21	Nechí	119,2	1	4789148.550	2380605.624
22	Caribona	2,6	1	4829869.379	2479266.298
23	Caribona	44,3	1	4813928.732	2464007.174
24	Corrales	25,3	1	4749414.068	2390626.427
25	Tarazá	1,8	1	4738613.558	2397346.574
26	Tarazá	18	1	4726538.247	2389659.311

Anexo 7. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Bagre Rayado Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	69,8	1	2390108.344	4742154.284
2	Cauca	94,7	12	2405082.553	4748038.264
3	Cauca	117	44	2423554.159	4757866.897
4	Cauca	125,8	10	2431253.723	4759933.253
5	Cauca	137,9	27	2440521.214	4758729.725
6	Cauca	167	83	2444329.688	4779972.534
7	Cauca	177,2	40	2446438.230	4787768.247
8	Cauca	196,4	35	2449188.710	4802297.796
9	Cauca	221,5	25	2467294.090	4809294.436
10	Cauca	232	2	2470373.534	4817745.902
11	Cauca	247,7	6	2479345.046	4827303.174
12	Cauca	270,1	1	2500481.264	4829614.525
13	Nechí	8,5	1	2447832.529	4803916.293
14	Nechí	15,9	11	2442591.193	4800239.082
15	Nechí	25,2	15	2435906.663	4799432.584
16	Nechí	34,9	16	2428082.986	4801396.544
17	Nechí	45,2	4	2422423.977	4801522.149

Anexo 8. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre rayado (*Pseudoplatystoma magdaleniatum*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358

ID	RÍO	DISTANCIA	DESOVE (F)	COOR_Y	COOR_X
1	Cauca	63,8	3	2384237.209	4743235.785
2	Cauca	96,3	4	2410413.649	4749743.356
3	Cauca	117,2	34	2424300.923	4757671.412
4	Cauca	127,9	19	2432686.036	4761202.098
5	Cauca	144,1	41	2445382.230	4762600.319
6	Cauca	172,9	94	2446008.841	4784496.136
7	Cauca	180,7	4	2448223.524	4796993.938
8	Cauca	199,1	24	2450976.003	4804306.002
9	Cauca	223,4	5	2469482.147	4809492.244
10	Cauca	246,9	2	2479374.361	4827897.915
11	Nechí	15,8	3	2442960.445	4800392.181
12	Nechí	24,7	4	2436011.733	4799458.786
13	Nechí	33,9	9	2429368.616	4800817.710
14	Nechí	41,2	2	2423798.275	4803914.330
15	Nechí	51,9	3	2417692.740	4801307.697
16	Nechí	90,7	1	2387843.775	4793346.409
17	Q. Noa	2,6	1	4740942.888	2398574.859

Anexo 9. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre sapo (*Pseudopimelodus sp.*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	0,9	1	2347809.938	4707194.542
2	Cauca	100,9	2	2414259.959	4750608.109
3	Cauca	139,6	1	2441789.163	4759030.937
4	Cauca	170,3	3	2443213.991	4782582.269
5	Cauca	180,6	3	2446785.910	4790726.252
6	Cauca	199	2	2450798.579	4804183.249
7	Cauca	218,3	1	2465152.417	4807839.204
8	Cauca	234,7	3	2470326.596	4820399.312
9	Nechí	75,2	1	2398813.104	4800340.946
10	Nechí	101	1	2385414.217	4788207.187

Anexo 10. Georreferenciación de las áreas de desove de bagre sapo (*Pseudopimelodus sp.*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358

ID	Río	Especie	Distancia	Desove (F)	Coordenada_X	Coordenada_Y
1	Cauca	Bagre sapo	20,6	1	4722779.961	2357712.078
2	Cauca	Bagre sapo	27,9	1	4729009.120	2359111.281
3	Cauca	Bagre sapo	63,2	1	4743270.595	2383640.861
4	Cauca	Bagre sapo	108,6	2	4754881.113	2416985.031
5	Cauca	Bagre sapo	119,2	1	4757611.794	2425762.636
6	Cauca	Bagre sapo	139,6	1	4759030.937	2441789.163
7	Cauca	Bagre sapo	150,9	2	4766869.778	2442324.240
8	Cauca	Bagre sapo	170,3	1	4782582.269	2443213.991
9	Cauca	Bagre sapo	193,8	4	4799824.041	244990.491
10	Cauca	Bagre sapo	212,2	1	4804780.221	2464385.842
11	Cauca	Bagre sapo	232,2	1	4817745.902	2470373.534
12	Cauca	Bagre sapo	239,6	1	4823799.486	2473408.497
13	Cauca	Bagre sapo	258,9	1	4831260.953	2490782.799
14	Nechí	Bagre sapo	14,1	1	4801778.887	2443337.220
15	Nechí	Bagre sapo	25,6	3	4799098.049	2435672.568
16	Nechí	Bagre sapo	32,2	2	4801579.664	2430798.323
17	Nechí	Bagre sapo	53,6	2	4802103.807	2416209.723
18	Nechí	Bagre sapo	78,2	1	4797451.291	2397875.737
19	Nechí	Bagre sapo	89,4	1	4793933.866	2388908.476

Anexo 11. Georreferenciación de las áreas de desove de blanquillo (*Sorubim cuspicaudus.*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	98,6	1	2411673.440	4749507.355
2	Cauca	123,3	6	2429944.943	4758063.584
3	Cauca	132,9	1	2437260.874	4758552.567
4	Cauca	177,7	4	2446059.735	4789008.065
5	Cauca	201,9	2	2454620.514	4803901.583
6	Cauca	222,2	3	2469125.852	4809704.642
7	Cauca	248,7	1	2481738.533	4828279.601
8	Cauca	270,9	2	2501470.809	4830386.140
9	Nechí	11,7	1	2444807.866	4802979.551
10	Nechí	22,2	2	2438625.033	4799838.858
11	Nechí	34,8	2	2428190.343	4801372.566

Anexo 12. Georreferenciación de las áreas de desove de blanquillo (*Sorubim cuspicaudus.*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.

ID	Río	Especie	Distancia	Desove (F)	COORDENADA_X	COORDENADA_Y
1	Cauca	Blanquillo	65,1	1	4742841.024	2385448.670
2	Cauca	Blanquillo	81,7	1	4742961.011	2398904.455
3	Cauca	Blanquillo	104,1	5	4752681.799	2413446.662
4	Cauca	Blanquillo	123,7	17	4758735.759	2430128.731
5	Cauca	Blanquillo	149,5	14	4765033.460	2442257.514
6	Cauca	Blanquillo	177,0	19	4787768.247	2446438.230
7	Cauca	Blanquillo	224,7	2	4811981.232	2470096.831
8	Cauca	Blanquillo	270,9	1	4830385.694	2501473.783
9	Nechí	Blanquillo	39	2	4802145.120	2424762.796
10	Nechí	Blanquillo	66,1	1	4801478.450	2405618.939
11	Nechí	Blanquillo	80,1	1	4796633.856	2396534.871

Anexo 13. Georreferenciación de las áreas de desove de vizcaína (*Curimata mivartii.*) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto

Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	150,1	2	2441781.918	4766282.710
2	Cauca	185,7	1	2447863.922	4796097.840
3	Cauca	205,1	4	2457709.489	4803157.885
4	Cauca	230	16	2470606.106	4817182.062
5	Cauca	255,3	13	2488106.879	4828974.449
6	Cauca	275,6	2	2505515.373	4829186.196
7	Cauca	296	1	2522366.539	4833393.053

Anexo 14. *Georreferenciación de las áreas de desove de vizcaína (Curimata mivartii.) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.*

ID	RÍO	DISTANCIA	DESOVE (F)	COORDENADA_X	COORDENADA_Y
1	Cauca	118,8	4	4757489.101	2425895.796
2	Cauca	176,8	3	4788150.690	2446360.808
3	Cauca	201,6	9	4804010.286	2454339.925
4	Cauca	212,5	2	4804888.540	2464768.851
5	Cauca	231,6	19	4819064.777	2470345.570
6	Cauca	255,3	43	4828863.015	2487947.586
7	Cauca	275,6	4	4829.68.844	2505000.076
10	Nechí	34,2	2	4801162.348	2428807.799
11	Nechí	41,1	2	4803895.074	2423922.621
12	Nechí	73	1	4801330.159	2400590.451

Anexo 15. *Georreferenciación de las áreas de desove de arenca (Triportheus magdalenae) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.*

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	227,2	2	2470380.706	4813060.816
2	Cauca	266,5	1	2497162.835	4829665.412

Anexo 16. *Georreferenciación de las áreas de desove de arenca (Triportheus magdalenae) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto*

Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.

ID	RÍO	DISTANCIA	DESOVE (F)	COORDENADA_X	COORENADA_Y
1	Cauca	75,2	2	4740271.362	2393965.734
2	Cauca	102,1	1	4751101.114	2414566.721
3	Cauca	122,4	4	4757364.199	2429459.281
4	Cauca	141,3	4	4760826.993	2443122.843
5	Cauca	165,4	14	4779272.749	2444773.321
6	Cauca	192,6	3	4799902.446	2448971.955
7	Cauca	267	1	4829246.946	2498119.860

Anexo 17. Georreferenciación de las áreas de desove de bryconidos (*Brycon moorei*.) en el río Cauca entre 2019 - 2022. * Distancia con respecto a la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CT-2019-00636.

ID	Río	Distancia* (Km)	F (n)	Coordenada X	Coordenada Y
1	Cauca	89,1	1	2404321.687	4746328.154
2	Cauca	112,8	2	2420207.156	4757316.537
3	Cauca	122,1	1	2429175.048	4757199.388
4	Cauca	130,6	2	2435310.275	4759461.729
5	Cauca	153,6	3	2443994.140	4768883.444
6	Cauca	181,4	1	2447910.672	4792022.476
7	Cauca	218,7	1	2465961.651	4809758.657
8	Nechí	27,7	1	2434183.923	4800666.766

Anexo 18. Georreferenciación de las áreas de desove de bryconidos (*Brycon moorei*) en el río Cauca entre 2023 y 2024. Distancia respecto de la presa del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, F, frecuencia o número de desove de la especie. Fuente: EPM & Universidad de Córdoba, contrato CW-246358.

ID	RÍO	DISTANCIA	DESOVE (F)	COORDENADA_X	COORDENADA_Y
1	Cauca	8,1	1	4712191.850	2351639.773
2	Cauca	50,3	1	4743913.172	2373655.347
3	Cauca	107,7	2	4754231.140	2416469.457
4	Cauca	131,5	2	4759398.409	2436204.592
5	Cauca	181,4	3	4791179.365	2447074.817
7	Nechí	71,8	1	4801915.093	2403262.414