

## PROGRAMA DE ECOLOGÍA

### ACTA DE EVALUACIÓN INTEGRAL DE PROYECTO DE GRADO

En Popayán a los 20 días del mes de abril de 2023, se reunió en esta Sede el Jurado Calificador, integrado por:

Daniel Feriz y Jaime López, para evaluar al estudiante de Ecología:

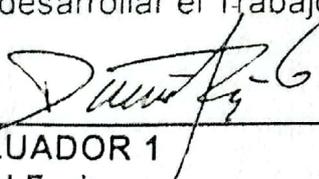
**Briyith Daniela Martínez Muñoz**

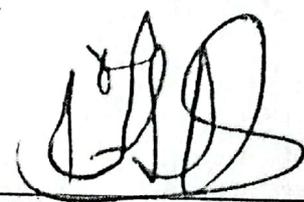
El jurado evaluador atendiendo a los reglamentos del programa en Ecología y considerando que la estudiante ha demostrado suficiencia de conocimientos, capacidad analítica y deductiva, adaptación a situaciones nuevas, capacidad para la comunicación escrita y oral, aptitud para el desarrollo de investigaciones científicas y tecnológicas, le confiere la evaluación de:

ACEPTADO

REPROBADO

Para desarrollar el Trabajo de grado.

  
\_\_\_\_\_  
EVALUADOR 1  
Daniel Feriz

  
\_\_\_\_\_  
EVALUADOR 2  
Jaime López

**La invasión de la Trucha arcoíris en ecosistemas naturales de Colombia y la laguna San  
Rafael del Parque Nacional Natural Puracé**

**Presentado por:**

**Briyith Daniela Martínez Muñoz**

**Fundación Universitaria de Popayán**

**Facultad de ciencias ambientales y agrarias**

**Programa de ecología**

**Popayán**

**2023**

**La invasión de la Trucha arcoíris en ecosistemas naturales de Colombia y la laguna San  
Rafael del Parque Nacional Natural Puracé**

**Presentado por:**

**Briyith Daniela Martínez Muñoz**

**Director:**

**Nicole Estefanía Ibagón Escobar**

**Fundación Universitaria de Popayán**

**Facultad de ciencias ambientales y agrarias**

**Programa de ecología**

**Popayán**

**2023**

## CONTENIDO

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>4</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>7</b>
Objetivo general .....	7
Objetivos específicos.....	7
<b>Justificación.....</b>	<b>8</b>
<b>Marco teórico.....</b>	<b>10</b>
<b>Marco normativo.....</b>	<b>13</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>15</b>
<b>Marco metodológico.....</b>	<b>26</b>
<b>Área de estudio .....</b>	<b>26</b>
Metodología para el objetivo 1. Estado actual de la invasión de la trucha arcoíris en ecosistemas acuáticos del PNNP .....	27
<b>Trabajo de campo.....</b>	<b>27</b>
<b>Laboratorio .....</b>	<b>28</b>
<b>Metodología para el objetivo 3.....</b>	<b>30</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>31</b>
<b>Estado actual de la invasión de la trucha arcoíris en los ecosistemas acuáticos del PNNP .....</b>	<b>31</b>
Parámetros Físicoquímicos.....	31
Abundancia.....	32
Sexo.....	34
Contenido estomacal .....	35
<b>Hábitos tróficos de la trucha en ambientes nativos.....</b>	<b>39</b>
<b>Invasión de la trucha en Colombia .....</b>	<b>41</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>44</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>46</b>

## Introducción

El Parque Nacional Natural (PNN) Puracé se ubica en la Cordillera Central de los Andes entre los departamentos del Cauca y Huila. Dentro de esta zona, se encuentran lagunas de alta montaña que son consideradas valores objeto de conservación (VOC) del área protegida, estas son de gran importancia para los indicadores de cumplimiento de los objetivos de conservación ya que son empleadas como unidades de análisis para realizar y dar prioridad a las estrategias de manejo del parque (Parques Nacionales Naturales, 2019); adicionalmente, prestan diferentes servicios ecosistémicos a las comunidades locales, como lo es el abastecimiento de agua, riego de suelos agrícolas, etc. A pesar del grado de importancia de las lagunas de alta montaña, el conocimiento biológico, ecológico y ambiental es limitado (Andrade, 2011).

En nuestro país, la región andina cuenta con una amplia documentación sobre la riqueza de plantas, reptiles, anfibios, aves y mamíferos (Rangel, 2015). En cuanto a los peces, los trabajos se han centrado en evaluar la diversidad en los canales principales de los grandes ríos; en la cuenca hidrográfica del Alto Magdalena, donde se tienen registradas 133 especies de peces, agrupadas en 8 órdenes y 28 familias (Villa *et al.*, 2006), y para el caso de la cuenca del río Cauca, un total de 85 especies (69 nativas y 16 introducidas), agrupadas en 7 órdenes, 23 familias y 54 géneros han sido identificadas (Ortega *et al.*, 2006). Existen registros de una alta endemidad de peces y de especies invasoras en los ecosistemas acuáticos colombianos (Herrera, 2015). Respecto a las lagunas altoandinas, se han registrado peces para la laguna de San Rafael del PNN Puracé, de acuerdo a lo relatado por pescadores de la zona, donde indican que pescan trucha directamente de la laguna. Por tal motivo, es de gran importancia invertir esfuerzos en investigación, para conocer si existen amenazas sobre los recursos ícticos y la calidad del recurso hídrico de estas zonas.

Por tanto, los efectos negativos que presentan las especies invasoras se evidencian sobre la biodiversidad nativa, la economía y la salud humana; dichos efectos pueden ser irreversibles en los ecosistemas generando desplazamiento y extinción de las especies, además de pérdida del acervo genético (Castaño *et al.*, 2010). El desplazamiento es causado por la competencia por recursos como lo son el alimento, la luz, depredación e hibridación (Vimos *et al.*, 2015). Un ejemplo de especie invasora agresiva en el país es la rana toro *Lithobates catesbeianus* (Shaw, 1802), originaria de Estados Unidos, habita ecosistemas acuáticos como lagos, humedales, zonas ribereñas y cursos de agua, al ser una especie que se adapta fácilmente a diferentes ambientes, tiene dieta amplia y hábitos predatorios (Castaño *et al.*, 2010).

Del mismo modo, en las 55 áreas protegidas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP), solo se tiene información de nueve de estas áreas, donde el mayor número de especies introducidas se han identificado en el PNN Puracé, una de las especies es la Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792), originaria de Norte América, especie que causa alto impacto ambiental, causando la desaparición del pez graso *Rhizomichthys totae* (Miles, 1942) en el lago de Tota, que desde 1958 no ha vuelto a ser colectado, además de la hibridación, competencia y transmisión de enfermedades a especies nativas, como la Necrosis hematopoyética epizoótica, Necrosis hematopoyética infecciosa, Septicemia hemorrágica viral y Síndrome ulcerante epizoótico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Este estudio de caso busca exponer la invasión de la trucha arcoíris como una especie invasora en los ecosistemas acuáticos del PNN Puracé. Hace parte del proyecto de investigación “Línea base para el estado ecológico de los ecosistemas lenticos valor objeto de conservación del PNN Puracé – segunda fase” aprobado en la convocatoria 017 de “Proyectos Universidad Estado Empresa Sociedad” de la Fundación Universitaria de Popayán por medio de la Resolución 128

de 2021.

## Planteamiento del problema

A lo largo de los años los humanos han desplazado especies fuera de su área natural a nuevos hábitats, estas especies se denominan especies exóticas invasoras causantes principales de extinción de especies nativas, provocando daños o desequilibrios en el hábitat como entre las poblaciones, es decir cambian la estructura trófica, provocan desplazamiento, pérdida de biodiversidad y transmisión de enfermedades (Gutiérrez, 2006). Un ejemplo de especies exóticas invasoras es la trucha arcoíris, considerada como una de las más dañinas para las especies nativas, generando deterioros en lagunas andinas, además de ser responsable de la extinción del pez graso *R. totae* del lago de Tota. (Torres *et al.*, 2017).

El PNN Puracé se encuentra localizado en el Macizo Colombiano en los departamentos del Huila y Cauca, allí nacen los ríos Magdalena, Cauca y Caquetá. En esta zona, se pueden encontrar ecosistemas terrestres de montaña como bosque andino, bosque altoandino y páramo. Sus principales lagunas de alta montaña son La Magdalena, Cusiyaco, San Rafael, El Buey y Santiago, ecosistemas frágiles expuestos a daños por cambio climático o intervención humana (Parques Nacionales Naturales, 2019). Estos cuerpos de agua, presentan grandes tamaños y están rodeadas por ecosistemas de páramo y bosque alto andino, los cuales, en conjunto han sido poco estudiados y no cuentan con una caracterización de peces (Parques Nacionales Naturales, 2019).

Por esta razón el SINAP busca que los VOCs como se presenta en la laguna de San Rafael establecer medidas de manejo y realizar más detalladamente para los problemas que se presentan dentro de los VOCs, en el PNN Puracé, están divididos en los ejes temáticos: Diversidad biológica, Servicios ambientales y Diversidad Cultural (Parques Nacionales Naturales, 2019). Las principales lagunas del PNN Puracé son consideradas como VOC en la temática de Servicios ecosistémicos por el abastecimiento hídrico para las cuencas del Alto

Magdalena, Alto Cauca, Alto Caquetá y dentro de Diversidad Cultural por ser sitios sagrados (Parques Nacionales Naturales, 2019). Estos cuerpos de agua, son elementos que permiten identificar el estado de conservación del área protegida, pero no cuentan con información suficiente sobre los componentes biótico, abiótico, socioeconómico, y no presenta un plan de manejo (Parques Nacionales Naturales, 2019).

Una de las limitantes con que se enfrenta el presente estudio, se relaciona con la falta de información del estado ecológico de los recursos hidrobiológicos de la zona, el cual, provee el agua para la sostenibilidad de los lugares y contribuye a procesos productivos relacionados con la calidad de vida de las comunidades cercanas. Este vacío, dificulta la toma de decisiones en las medidas de conservación que se deben adoptar, ya que se desconocen las especies nativas de las lagunas del PNN Puracé, y también, las posibles especies exóticas que allí habitan, y, por lo tanto, no se tiene una medida de control para las mismas. Las lagunas del PNN Puracé son lugares sagrados bien conocidos por las comunidades indígenas y campesinas de la zona, sin embargo, existe una carencia de estudios que exploren la diversidad de peces presentes en los cuerpos de agua del PNN Puracé. Algunas regiones del PNN Puracé, en especial las lagunas han sido objeto de turismo desorganizado, esto ha llevado al pisoteo de las zonas aledañas y muerte de los organismos que la protegen (Parques Nacionales Naturales, 2019), es indispensable contar con información base para tomar y planear el manejo ambiental que se dará a cada una de las lagunas del parque.

Existen cultivos de trucha en el área de influencia del parque, estos sirven como sustento económico a las comunidades y se han reforzado o apoyado por el estado, en el área de influencia del PNN Puracé, el pueblo Kokonuko del Municipio de Puracé, tiene como principal actividad económica la piscicultura, donde produce alrededor de 9 000 alevinos de trucha,

además de ser la principal fuente de alimento en la dieta de la comunidad (Bernal et al., 2014).

Por esta razón, este estudio se realizó en la quebrada Chorrillos y en la laguna San Rafael porque se está construyendo una línea base de los ecosistemas lenticos del PNN Puracé; para conocer los organismos asociados a la laguna que incluye el estudio de los peces.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Exponer la invasión de la trucha arcoíris en Colombia y los ecosistemas acuáticos del Parque Nacional Natural Puracé.

### **Objetivos específicos**

- 1.** Describir el estado actual de la invasión de la trucha arcoíris en los ecosistemas acuáticos del PNNP.
- 2.** Identificar los hábitos tróficos de la trucha en los ecosistemas muestreados.
- 3.** Relatar la historia de la invasión de la trucha arcoíris en los ecosistemas acuáticos de Colombia.

## Justificación

Las lagunas del PNN Puracé son consideradas VOCs, por garantizar el abastecimiento y regulación hídrica de los páramos y de las cuencas Alto Magdalena, Alto Cauca y Alto Caquetá (Parques Nacionales Naturales, 2019). Iniciar el proceso de construir una línea base de estos ecosistemas en la segunda fase del proyecto, permitirá establecer un plan de manejo para este sector, con el fin de proteger la sostenibilidad de agua del departamento del Cauca, que se contempla dentro del Plan Estratégico Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación (PEDCTI), Con-CIENCIA Cauca, mediante el análisis temporal de la calidad del agua y los organismos asociados a la laguna. Este proyecto se encontró enmarcado en una investigación marco de Línea base para el estado ecológico de los ecosistemas lenticos valor objeto de conservación del PNN Puracé – Segunda fase, donde se coleccionará información sobre los organismos acuáticos y parámetros fisicoquímicos de la laguna San Rafael, de tal manera que los resultados obtenidos contribuyan al conocimiento de especies de peces presentes en la laguna y su estado de conservación.

Las comunidades que habitan la zona del PNN Puracé, no solamente usan el recurso hídrico para su consumo, sino que también, dentro de la cultura indígena, las lagunas son lugares sagrados. Un caso específico es la Laguna San Rafael, la cual, es considerada la Ninfa de las Aguas y Madre de todos los Puraceños (Parques Nacionales Naturales, 2019). Al estudiar y reportar a la comunidad científica y a los grupos étnicos el efecto de la presencia de la trucha en lagunas, se contribuye a que las tradiciones se mantengan y fortalezcan, además de fortalecer el intercambio cultural entre los pueblos indígenas y no indígenas. Exponer la invasión de la trucha en el PNN Puracé y en Colombia, podría permitir que las comunidades identifiquen una problemática importante en su territorio e inicien procesos de cambio de paradigmas y

actividades económicas en pro de la conservación de sus lugares sagrados.

En las lagunas del PNN Puracé, se ha reportado la presencia de la trucha arcoíris (*O. mykiss*) (Parques Nacionales Naturales, 2019), esta especie, por tener un espectro trófico amplio y la capacidad de adaptación a diferentes condiciones, ha logrado ampliar su distribución hasta las sierras altas de Colombia (Sanabria, 2016), llegando a desplazar las poblaciones de peces nativos, dado que, la trucha arcoíris es un pez depredador que consume gran cantidad de presas y presenta una estrategia de alimentación generalista (Villalba, 2009).

Las especies de peces han sido significantes indicadores biológicos para el monitoreo, caracterizar y definir la calidad de agua (Ibarra, 2005), resultan muy importantes por ser una fuente proteica indispensable en la dieta humana, contribuyendo a la seguridad alimentaria y economía de las comunidades indígenas y autoridades, además estos peces contribuyen para la toma de decisiones y la conservación de ríos y lagunas de las áreas protegidas.

Teniendo en cuenta que la información básica es precaria sobre las especies presentes en la laguna San Rafael, lo cual no permite la elaboración y puesta en marcha de un plan estratégico de manejo sobre las especies de peces, este estudio de caso busca aportar información y caracterización de peces que habitan estas aguas, con el fin de dar control sobre especies invasoras, evitando el deterioro de los ecosistemas de alta montaña, la regulación hídrica, además de evitar la pérdida de biodiversidad nativa, teniendo en cuenta que al conocer que especies invasoras y nativas hay dentro del VOC se puedan tomar medidas de manejo.

## Marco teórico

Tabla 1. Términos.

Termino	Definición
<b>Especies Exóticas Introducidas</b>	<p>Individuos que accidentalmente o intencionalmente se introduce fuera de su entorno natural y que con el tiempo logra adaptarse, reproducirse y colonizar. Muchas de las especies actúan como depredadores afectando la diversidad nativa, desequilibra hábitats naturales y propagando enfermedades a especies y humanos (Howard, 1999).</p>
<b>Trucha Arcoíris</b>	<p>Su nombre científico <i>O. mykiss</i> es un pez originario de los ríos y lagos de Norte América al Oeste de las montañas rocosas, vive en aguas frías, con escamas pequeñas y de colores tornasolados con vientre blanquecino, torso alargado un poco comprimido su coloración varía dependiendo del hábitat, la alimentación, la condición</p>

sexual y tamaño, especie territorial con comportamiento bentónico (Hardy, 2002).

### **Lagunas de alta montaña**

Se ubican en la parte superior del páramo, localizadas a 3.000 msnm, hacen parte de las cuencas altas de ríos importantes (Lage *et al.*, 1998).

### **Conservación**

Protección de espacios naturales y de las comunidades biológicas que lo habitan, tal como el suelo, agua, plantas, animales y energía para garantizar que no desaparezcan (Toledo, 2005).

### **Área protegida**

Áreas definidas geográficamente por su riqueza ecológica, paisajística, y que provee de beneficios y servicios ambientales, estos espacios son designados para la regulación y administración para el cumplimiento de los

objetivos de conservación (Dudley, 2008).

## **VOCs**

Para un plan de manejo está en funcionamiento y es efectiva, se es necesario una selección de elementos dentro del área que permite a través de las evaluaciones su estado, verificar si se están cumpliendo o no los objetivos de conservación para esa área, dado que estos VOCs son: ecosistemas o poblaciones de especies, atributos de la biodiversidad, bienes y servicios ambientales, lugares de valor cultural o histórico (Parques Nacionales Naturales, 2015).

---

## Marco normativo

La normativa legal y reglamentaria de la actividad pesquera y de acuicultura de Colombia está dirigida principalmente por la Autoridad Nacional de Acuicultura y pesca AUNAP, apoyada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, donde:

La AUNAP, estableciendo medidas de manejo sobre la especie denominada Trucha Arcoíris (*O. mykiss*), realizando investigaciones para conocer sus efectos y de esta manera poder hacer una planificación, registro, regulación y vigilancia de la especie *O. mykiss*, para poder aplicar sanciones. Resolución 2364 de 2020 Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, por el cual derogan las Resoluciones No. 0220 de 1964, 526 de 1967, 889 de 1974, 1193 de 1974 y la 0243 de 1984 relacionadas con medidas reglamentarias de la especie Trucha con fines pesqueros, 27 de noviembre de 2020.

Se establece el control y erradicación de las especies exóticas que amenazan las especies, hábitat y ecosistemas, donde no se permitirá o autorizara la introducción al país de especies, subespecies, razas o variedades exóticas, que hayan sido consideradas como invasoras por entidades científicas, organizaciones ambientales internacionales o nacionales u académicas y declaradas como tal por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, además teniendo en cuenta el soporte científico de institutos de investigación científica vinculados al ministerio. Resolución No. 0207 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, “Por el cual se adiciona el listado de especies exóticas invasoras declaradas por el artículo primero de la Resolución 848 de 2008 y se toman otras determinantes”, 03 de febrero de 2010. La resolución explica como las especies exóticas invasoras son la causa directa de la pérdida de especies nativas y la fragmentación de hábitats y establece al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial como primer organismo para la gestión del ambiente y los

recursos naturales renovables, para definir las regulaciones a las que estarán sujetas la protección, conservación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables del país, con el objetivo de asegurar el desarrollo sostenible. Resolución No. 0848 de 2008, “Por el cual se declaran unas especies exóticas como invasoras y se señalan las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado y se adoptan otras determinaciones”, 23 de mayo de 2008.

La AUNAP otorga autorizaciones, permisos, patentes, concesiones y salvoconductos para la investigación, extracción, procesamiento y comercialización de los recursos pesqueros, como para la acuicultura. Resolución No. 02287 de 2015, “Por el cual se declaran unas especies de peces como domésticas para el desarrollo de la Acuicultura y se dictan otras disposiciones”, 29 de diciembre de 2015.

## Antecedentes

La trucha arcoíris (*O. mykiss*) ha sido estudiada en diferentes lagunas y ríos de Colombia, a continuación, se presentan algunas de las investigaciones realizadas:

**Efecto de los cultivos de trucha, sobre la calidad del agua en el río Siecha, Guasca, Cundinamarca, Adriana Alejandra Calcetero Barato, 2022.**

Este trabajo se realiza con el objetivo de analizar el efecto de tres cultivos comerciales de la trucha arcoíris sobre la calidad de agua del río Siecha, donde se tomaron muestras de agua de afluente a afluente en cada una de las fincas productoras en épocas de verano e invierno, para ser llevadas a laboratorio, los resultados de las muestras de agua, de acuerdo al manual de procedimientos y recolección de datos del IDEAM.

En época de invierno el DQO existió una tendencia de incremento a nivel de afluente por cada finca muestreada, para la época de verano se presentó una tendencia similar, entonces a nivel de afluente a afluente de cada finca se comparó la calidad de agua evidenciándose que la DQO y la DBO5 son mayores a nivel de afluente, relacionado con la mayor presencia de materia orgánica al comparar la calidad de agua entre el afluente de la granja de mayor altitud y el afluente de la granja de menor altitud, se demostró que el manejo de materia orgánica es adecuado por lo tanto el impacto ambiental de las granjas productoras de trucha es de baja magnitud (Calcetero, 2022).

**(Mono) cultivos de trucha arcoíris en la Laguna La Cocha, Colombia: trayectorias y transformaciones socioambientales, productivas, culturales y en las relaciones de género dentro del entorno lacustre, Paula Javiera Fuentealba Urzua, 2018.**

Aborda el mono cultivo acuícola y su trayectoria dentro del corregimiento de El Encanto,

Pasto Nariño, espacio de trucha de trucha arcoíris desde 1990, usando esta actividad como una alternativa de desarrollo frente a actividades económicas menos productivas. La investigación está enfocada a las narraciones y vivencias de los actores locales, para comprender sus realidades y modos de vida que se relacionan con la laguna, los actores seleccionados de cuatro veredas se realizó por medio de un encuentro inicial, posteriormente la investigación se dividió en cuatro fases: 1) diseño, pilotaje de herramientas y *rapport*; 2) trabajo de campo; 3) procesamiento y análisis de datos y resultados preliminares, 4) redacción del documento final, además fueron utilizadas técnicas de investigación donde se realizaron 15 entrevistas (4 entrevistas abiertas, 6 entrevistas semiestructuradas y 5 entrevistas en profundidad), 3 conversaciones grabadas y 5 talleres de levantamiento de información de actores del territorio.

Teniendo en cuenta que la laguna de la Cocha es un territorio inmerso en disputas de poder, se hace necesario abordar la acuicultura en el escenario lacustre y como esta actividad impacta diversos aspectos de la población local, donde la piscicultura de trucha arcoíris en La Cocha tiene características de monocultivo para la producción de *commodites* alimentarias, actualmente la laguna tiene condiciones ambientales favorables para mantener cultivos y actividades asociadas en el espacio; sin embargo teniendo en cuenta la intensificaciones los cultivos en jaulas flotantes y la falta de saneamiento de aguas residuales, existe un riesgo de degradación ecosistemas lacustres (Fuentealba, 2018).

**Metodología para la medición de la huella hídrica en la producción de Tilapia, Cachama y Trucha: estudios de caso para Valle del Cauca (Colombia), Mario A. Pérez-Rincón, Isabel C. Hurtado, Sergio Restrepo, Sara P. Bonilla, Héctor Calderón, Andrés Ramírez, 2017.**

Se desarrolló un método para la estimación de la huella hídrica, que se compone la huella verde, gris y azul, aplicado a las tres especies más producidas de Colombia, también fue seleccionada la cuenca hidrográfica del río Cauca, ya que tiene una interacción productiva, se seleccionó un tanque al azar con los siguientes componentes: 1) estanque con peces en estado de semilla; 2) dos estanques con peces en etapa de engorde en los primeros meses y otro en el último mes de la etapa; 3) un día de sacrificio. Para la huella hídrica verde, se usó las etapas de semillas y engorde a partir de 25 estaciones meteorológicas, donde el volumen de precipitación resultó ser producto del área de las lagunas y la columna de agua que cayó sobre ellas en cada etapa; huella hídrica gris, se tomaron muestras consecutivas tres días, cuatro veces al día en cada caso de estudio, estas muestras se hicieron de acuerdo a la incidencia de la luz solar y los horarios de alimentación y digestión de los peces, con un total de 360 muestras y 5,358 análisis de laboratorio de pH, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), carbono orgánico total, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fósforos, coliformes totales y sólidos sedimentados y la huella hídrica azul se utilizó la información de evaporación, registrada únicamente en cinco estaciones climatológicas en los municipios de Buga, Yotoco, La Victoria y La Unión, calculando el volumen húmedo del estanque según su geometría, durante las etapas de semilla y engorde, dado que es el medio de vida de los peces que se mantienen constante durante toda la etapa.

Se obtuvo como resultado que la huella hídrica del cultivo de tilapia es de 5,486 m<sup>3</sup>/Ton, el cultivo de cachama es de 6,193 m<sup>3</sup>/Ton y el de trucha es de 19,854 m<sup>3</sup>/Ton, entonces para la cachama y trucha presenta una huella hídrica alta para la gris por las concentraciones de sólidos y nutrientes presentes, la huella azul se asocia a el agua que queda acumulada en los estanques y la huella hídrica total más alta para la tilapia se presenta por las concentraciones de alimento (Rincón *et al.*, 2017).

**Crecimiento y sobrevivencia en el levante de alevinos de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua, Camilo Andrés Montaña, 2009.**

Estudio realizado en el laboratorio de acuicultura de la Estación Experimental Rio Grande, Cajicá de la Universidad Militar Nueva Granada, desde marzo de 2006 hasta diciembre del mismo año.

En un tanque de plástico de 500L, dentro de él se instaló una bomba de agua, además de dos combas de aire con biofiltro sumergido con una capa de grava de 22,5cm de altura y diámetro de 2-3 cm, se realizó un sistema de recirculación de agua sencillo, con siempre de peces de *O. mykiss*, realizando seguimiento durante el crecimiento, sobrevivencia y condiciones fisicoquímicas durante los periodos de tiempo anteriormente mencionados. El estudio se realizó con tres grupos denominados A, B y C, con tres replicas, que consisten en una población de 50 alevinos/sistema con un total de 150 alevinos por cada grupo, estos peces fueron sometidos a experimentos por un periodo de 30 días, después de estos días los peces fueron retirados realizando una limpieza y desinfección, proceso que se hizo con cada uno de los grupos.

Los ejemplares de los grupos A, B y C, tuvieron diferencias a nivel de grupos, resultado

que se esperaba diferente ya que los todos los ejemplares fueron mantenidos bajo las mismas condiciones de agua, densidad, alimento y calidad de agua (Montaña, 2009).

**Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota Colombia, Nixon Hernán Barrera – Isnardo Antonio Granadas Rincón, 2017.**

La trucha se desarrolla en el lago de manera intensiva desde el 2005 utilizando jaulas inmersas, utilizando el método investigación exploratorio, se inició por la información de los acuicultores y producción suministrada por la AUNAP, organización que licencia los permisos de producción máxima de acuerdo con la capacidad de instalaciones y otros criterios.

Se obtuvo un total de la producción permitida actualmente en el lago de Tota es de 984 t/año, cifra que se estima las tasas de carga de desechos anuales, además se tiene en cuenta otro indicador que pertenece al 25% del alimento que se convierte en carne y el 75% se convierte en nitrógeno, carbono, fosforo y perdidas como alimento no capturado, lo que resulta en sedimentos que incrementan la profundidad del lago como también la disminución del oxígeno disuelto, además aumenta el fosforo total, la demanda química y bioquímica de oxígeno (Torres *et al.*, 2017).

**Aprovechamiento de residuos de trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss*: uso de tecnologías limpias para la extracción de aceite, Carlos A. David-Rúales, Catalina Torres - Toro, Sara Hincapie-Avila, Julián Londoño-Londoño, 2014.**

Para el estudio se planteó extraer y caracterizar el aceite de pescado derivado de subproductos de trucha arcoíris por medio de Soxhlet y FSc, para esto se realizó se extrajeron las vísceras y carcasas de trucha que fueron suministrados por la empresa Truchas del Jardín,

municipio de Jardín, posteriormente fueron molidas, determinando la humedad, valores bromatológicos y microbiológicos. Para la extracción de la materia prima se ingresaron en un horno eléctrico a una temperatura de 65°C, como también el contenido de humedad, además del contenido de cenizas determinado por una MuflaBorel a 500°C, nitrógeno proteico y el valor calométrico.

Las pruebas presentaron los siguientes datos: el contenido de humedad para los huesos y musculo intercostal fue 1,41%, para cabezas 2,18% y para vísceras de 2,68%, donde el mayor porcentaje en contenido de grasa fue para vísceras con 42,32%, seguido por huesos y musculo con 34,79% y con menor porcentaje las cabezas con 28,57% (David-Rúales, *et al.*, 2014).

### **Diseño de una guía ambiental para minimizar la afectación del cultivo de Trucha en la laguna de Tota, municipio de Antioquia, Boyacá, Laura Viviana Molina Paredes, 2021.**

La investigación se realizó con datos obtenidos de entidades como la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca y la Corporación Autónoma de Boyacá, usando la metodología de revisión bibliográfica o información recolectada para la identificación de productores e impactos sobre la laguna, para ser compuesta por tres fases: 1) identificación del territorio: consulta geográfica usando el software Qgis y formatos raster; 2) análisis ambiental y evaluación normativa para aplicar normas vigentes y actuales; 3) correlación de las dos fases anteriores para proponer el diseño total de la guía ambiental, con el objetivo de mitigar los problemas de la laguna.

Después de la revisión documental, fueron encontrados aspectos e impactos relacionados con cada subetapa del cultivo de trucha arcoíris en la laguna, como lo son la alimentación, generación de desechos e introducción masiva de especies por jaula, de esta manera fue

identificando impactos ambientales a nivel de recursos agua, suelos, flora, paisaje, etc., además del esparcimiento de los nutrientes generados en todo el proceso productivo de las truchas para posteriormente identificar las zonas y las plantas que serán usadas como fitorremediadoras, así como el conocimiento que tendrá cada empresa (Molina, 2021).

**Contaminantes prioritarios en Truchas Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del municipio de Mutiscua, Norte de Santander, Colombia, Alfonso Quijano, Javier Navia, Maghdriel C. Portilla, 2014.**

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), se incorporan en los ecosistemas acuáticos y los peces se ven involucrados en ser biomarcadores de su presencia, debido a que la región presenta contaminación atmosférica producida por fuentes de gasolina y diésel fuentes móviles que circulan por la vía nacional, el objetivo del estudio se basa en la identificación de efectos adversos de los componentes mencionados sobre la salud y ecosistemas. Para la toma de muestras se adquirió la trucha en estanques de la zona, tres peces por estanque para un total de 18 ejemplares, con un promedio de peso de 450 kg y longitud de 45 cm, donde la materia orgánica presente en musculo y piel se extrajo mediante ultrasonido; utilizando diclorometano como solvente de extracción, la piel y musculo se separó en vasos de precipitado con 50 mL de solvente con temperaturas de 23°C – 24°C durante una hora, se obtuvo que para el musculo de las truchas se observó en un tiempo de 35 min una mezcla de dos HAP que corresponden a Benzo (b) y venzo (b) fluóratenos, para la piel se observa en un tiempo de 35 a 40 min, la aparición de benzo (a) pireno, considerado altamente cancerígeno (Quijano *et al.*, 2014).

**Hábitos alimenticios de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes:**

**Salmonidae) en el Parque Forestal Embalse del Sisga, Andrea del Pilar Villalba Saavedra, 2009.**

Estudio realizado durante los meses de febrero y septiembre, obteniendo 65 ejemplares en 13 muestreos mediante una atarraya de 7 cm, estos fueron llevados a laboratorio donde se tomaron datos como: factor de condición (k), proporción sexual, estudios gonadales, porcentaje de frecuencia de ocurrencia (%f), porcentaje del contenido estomacal por taxa e índice de repleción o llenado (IP), para el análisis del contenido estomacal se realizó la extracción de la bolsa estomacal, para la identificación de las presas y su valoración en estereoscopios. Se obtuvo un porcentaje de 91% con contenido estomacal y el 9% estómagos vacíos, de esta manera fueron organizados en cuatro categorías: 1) Peces: únicamente con organismos *Grundulus*; 2) Insectos: ordenes como Hemiptera, Coleoptera y Diptera, comprendiendo pupas, ninfas, larvas, adultos y exubias; 3) Mollusca: ordenes como Veneroidea, Basommatophora; crustáceos del orden Displostraca y caracoles del orden Planorbidae; 4) Otros: hace referencia a restos vegetales, nematodos, huevos de insectos, restos de peces, granos de lodo y semillas de gramíneas (Villalba, 2009).

**Estudio Bioecológico de la ictiofauna del Lago de Tota (Boyacá- Colombia), con énfasis en la Trucha Arcoíris, *Oncorhynchus mykiss*, Gilberto Mora, Luz Stella Téllez, Plutarco Cala, Gabriel Guillot, 1992.**

De acuerdo a las condiciones tróficas del ecosistema del lago de Tota, se analiza el efecto de la introducción de la trucha arcoíris sobre las poblaciones nativas, para este análisis se escogieron tres épocas de muestreo teniendo en cuenta el análisis climático de la cuenca, que fue noviembre que presenta mayor precipitación y de sequía, febrero periodo de baja precipitación y

por tanto baja escorrentía por último mayo que presenta máxima precipitación y épocas secas. Para la caracterización del hábito alimenticio se seleccionaron 15 ejemplares en cada época de muestreo, se estima que en el traslape e introducción la *O. mykiss* haya ejercido demasiada presión sobre las poblaciones nativas, desplazando o induciendo la extinción, posiblemente como una consecuencia de la adaptación, sin embargo las tres poblaciones de peces del lago tuvieron un desarrollo bueno por la gran disponibilidad de alimento no generan competencia, comparándolo con resultados en otros ambientes acuáticos donde está presente esta especie (Mora *et al.*, 1992).

**Estudio de factibilidad económica y financiera del cultivo de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Municipio de Aratoca- Santander, María Jhoana Becerra Rincón y Sandra Viviana Torres Chocontá, 2017.**

La trucha arcoíris se ha convertido en una alternativa de negocio en la actualidad, ya que la demanda a nivel internacional es significativa, especialmente porque Colombia está exportando a diferentes países, por esta razón se hace importante el estudio de factibilidad económica y financiera, con el fin de llevar a cabo una producción y comercialización de trucha en el municipio.

El estudio se llevó a cabo en cuatro fases: 1: estudio de mercado y comercialización del producto; 2: aspectos técnicos de infraestructura y requerimiento para el desarrollo del proyecto; 3: estimación monetaria del monto de inversión para llevar a cabo el montaje del cultivo; 4: proyección de estados financieros con la evaluación de viabilidad y financiera. El estudio fue proyectado a 10 años, donde se obtuvo que la recuperación de la inversión se da a los 2 años y a los nueve meses después de empezar el proyecto, la relación de costo beneficio es de 188,4%,

con esto la factibilidad se considera positiva, además los resultados arrojan un VPN de \$3.292.297, reflejando viabilidad financiera (Becerra *et al.*, 2017).

**Caracterización y propuesta para la exportación de Trucha arcoíris colombiana a Aruba, Erika Viviana Cabra Garavito, 2019.**

La investigación se llevó a cabo para atender la necesidad de una empresa colombiana ubicada en Fusagasugá Cundinamarca, vereda de Guavita, interesada en saber el proceso de exportación de filetes de trucha a la unión europea, por lo tanto en la investigación se lleva a cabo el análisis de la historia de la piscicultura en Colombia, antecedentes de exportación del producto, procesos legales y técnicos del cultivo, propiedades y características del filete de trucha, patrones de consumo, cultura y logística del país al que se va a exportar, condiciones de exportación a Aruba. Se realizaron entrevistas a 10 profesionales en comercio internacional, se obtuvo 6 categorías importantes que fueron: barreras: medidas fitosanitarias, cuidado en el transporte; tipo de negociación: responsabilidad de seguro y filete asumidos por el comprador; experiencia PP: exportan tilapia a Canadá y camarones a Estados Unidos; variables: que tipos de producto que se va a exportar, condiciones especiales para transportar, reglamentos internos del país, garantizar de la inocuidad del producto y movimiento cambiario; transporte: las características del filete fresco el medio sería aéreo ya que su arribo a Aruba sería en un transcurso de tiempo de 24 horas (Cabra, 2019).

A pesar de la búsqueda de información que se realizó sobre el impacto ambiental de la trucha en Colombia, son pocos los estudios publicados, además, se evidencia que las investigaciones científicas están centradas en el cultivo de la trucha. Es por eso que estudios relacionados con la ecología e invasión de la trucha adquieren una importancia como herramientas para la toma de decisiones en el control de la especie.

## Marco metodológico

### Área de estudio

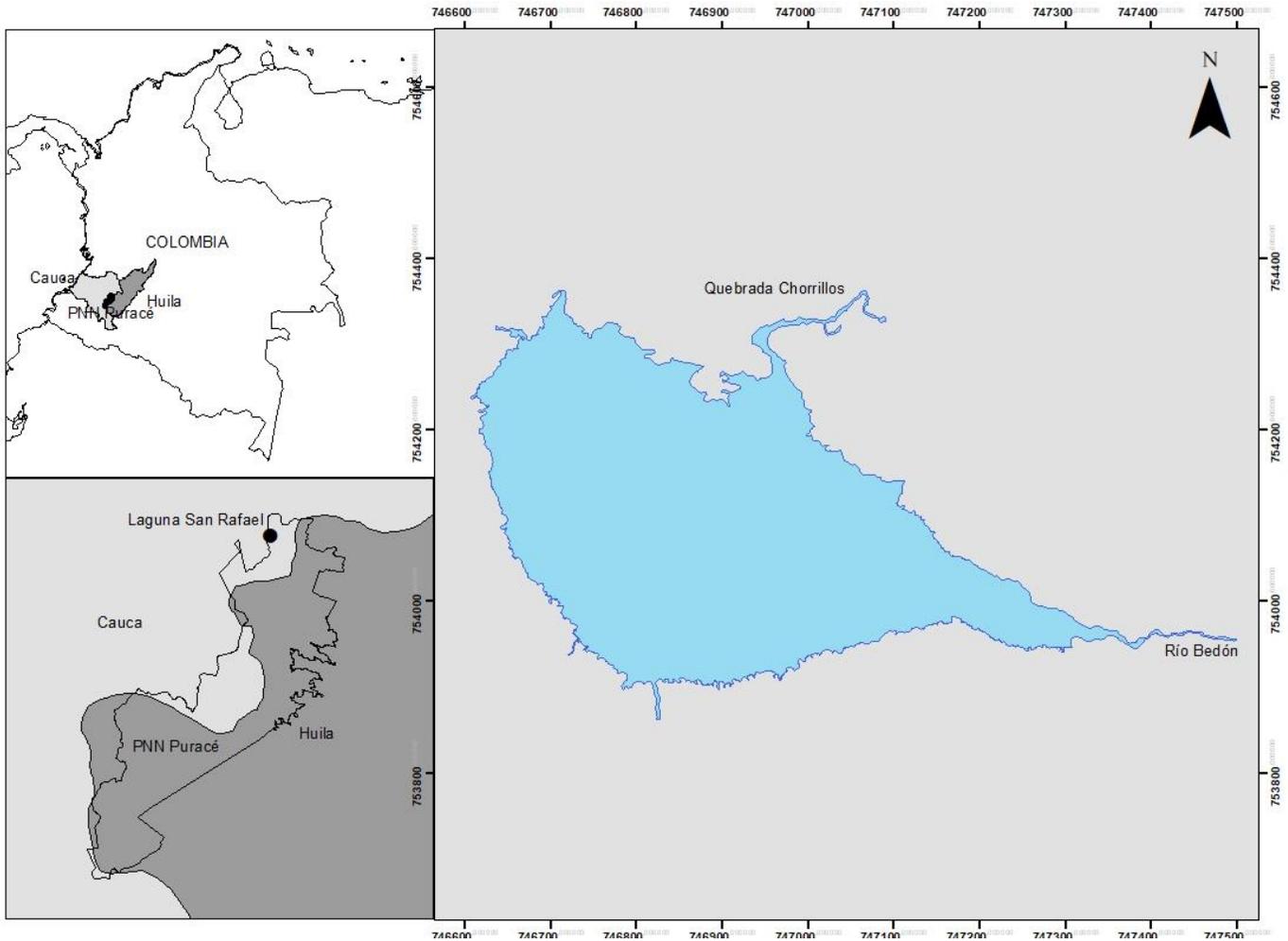
El PNN Puracé se encuentra en el Macizo Colombiano, desde 1975 declarado por la Gobernación del Cauca empieza a ser parte del Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN), donde se encuentra una cadena volcánica denominada Serranía de los Coconucos con 11 cráteres. Las lagunas del PNN Puracé se consideran VOC ya que son un elemento importante para identificar el estado de conservación del área protegida (Roncancio-Duque *et al.*, 2019).

La quebrada Chorrillos que desciende la montaña, hace parte del sistema lagunar de la laguna, siendo el principal afluente que vierte sus aguas a la laguna San Rafael; y el río Bedón es el efluente, que sale de la laguna y además hace parte de la cuenca alta del río Magdalena (Fig. 1).

La laguna San Rafael se encuentra en el sector norte del Parque Nacional Natural Puracé (PNNP), al suroeste del país en el Macizo Colombiano ( $22^{\circ}22'14''N - 76^{\circ}21'11''W$ ), esta cuenta con 16.78 hectáreas, dentro del valle aluvial localizado a 3 300 msnm y pertenece a la cuenca del río Magdalena (Valencia-Rojas *et al.*, 2017).

La laguna como la quebrada Chorrillos tiene asociaciones vegetales de páramo que predominan a sus alrededores como: frailejones, pajonales y chuscales, además, se encuentran parches de bosques y arbustos (Valencia-Rojas *et al.*, 2017).

Esta zona hace parte de la biosfera Andina, que corresponde al PNN Puracé, esta posee una importante área de sistemas naturales dentro de la región por su valor ambiental y cultural. Sin embargo, la cobertura vegetal de bosques, paramos y humedales, han disminuido considerablemente en las últimas décadas debido a las actividades humanas como la quema, ganadería, actividades agrícolas, extracción de madera, turismo desorganizado y pesca ilegal.



**Figura 1.**  
Ubicación de Laguna San Rafael y quebrada Chorrillos.

## **Metodología para el objetivo 1. Estado actual de la invasión de la trucha arcoíris en ecosistemas acuáticos del PNNP**

### **Trabajo de campo**

Se llevaron a cabo cuatro salidas de campo entre los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2022, con una visita por mes; para el ingreso a la laguna se realizó por medio de un sendero autorizado por la comunidad indígena y los guarda parques del PNN Puracé. En cada salida fueron escogidos los puntos de colecta en la laguna y en cada estación de muestreo se midió: temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, pH, turbiedad, nitrógeno amoniacal,

nitritos, nitratos, fosfatos, sólidos suspendidos totales, DBO, coliformes fecales, *E. coli*, y alcalinidad.

La colecta de peces se realizó a dos metros de la orilla de la laguna San Rafael por medio de anzuelos, lanzando líneas de anzuelos número 8 con nailon de 0,25 mm, usando atrayentes como lombrices y cebo de queso, con un esfuerzo de muestreo de una hora por estación.

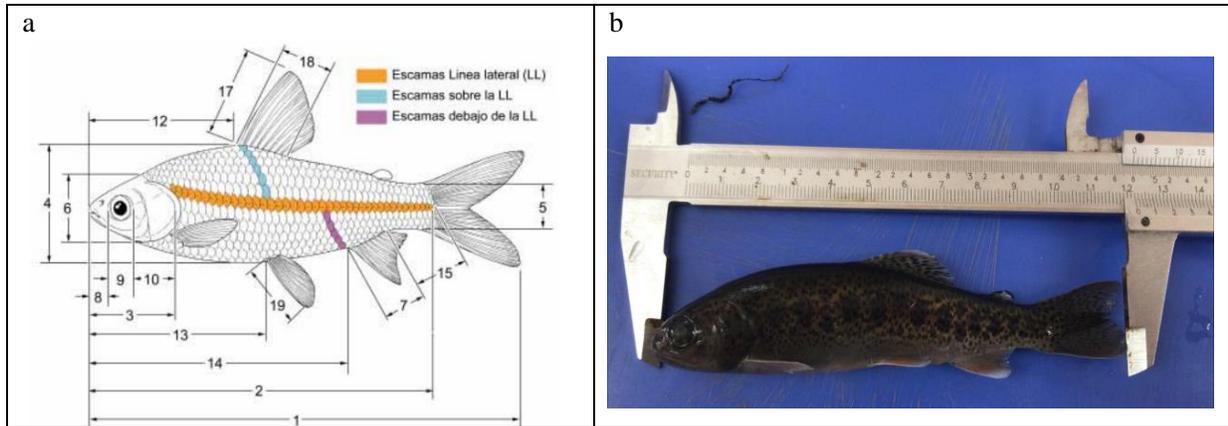
La pesca con método de nasa eléctrica se realizó en la quebrada Chorrillos que hace parte del área de la laguna San Rafael. La quebrada Chorrillos se hizo por el segundo sendero ubicado a un costado del mirador principal hacia la laguna, con un recorrido de una hora y 30 minutos; se hizo la instalación del equipo de electro pesca tipo mochila de 200w, se realizó un recorrido en sentido contrario a la corriente por la zona rocosa, realizándose un esfuerzo de muestreo de una hora.

Los ejemplares colectados fueron fijados en formol al 10%, realizando una incisión en la cavidad abdominal, permitiendo que el formol pueda permanecer al interior del ejemplar, asegurando la adecuada fijación de los órganos internos, además, los ejemplares se depositaron en bolsas ziploc con formal al 10%, acompañadas por etiquetas con datos del lugar de muestreo, hora, fecha y nombre del colector.

### **Laboratorio**

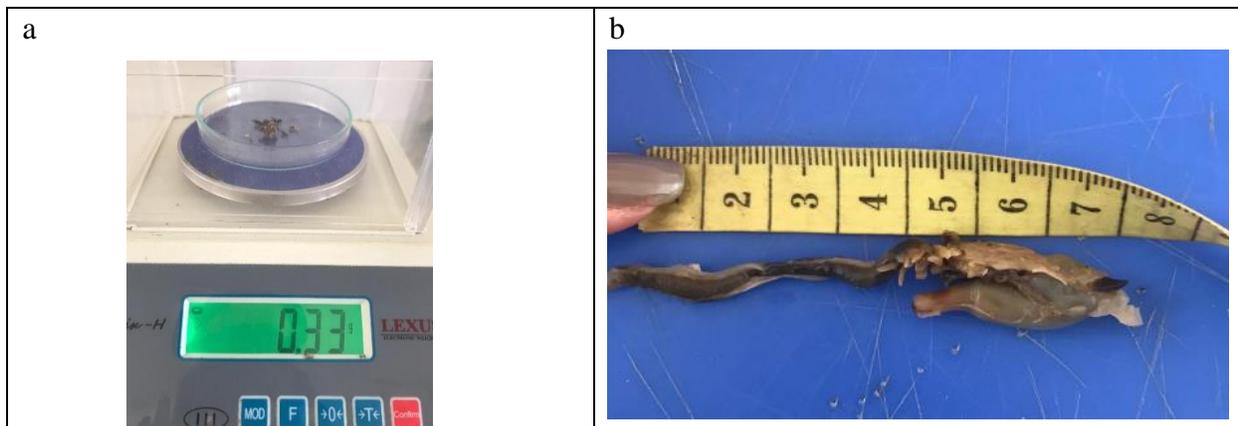
Los peces colectados fueron llevados al laboratorio de la Fundación Universitaria de Popayán sede Los Robles, donde se tomaron medidas de acuerdo a lo estipulado por el libro “Peces de los Andes de Colombia” Maldonado-Ocampo, J. A. (2005); longitud total, longitud estándar, distancia interorbital, altura, longitud de aleta caudal, longitud de boca a opérculo, longitud de aleta anal, longitud de boca a ojo, diámetro del ojo, longitud de ojo a opérculo, longitud de boca a aleta dorsal, longitud de boca a aleta ventral, longitud de boca a aleta anal,

longitud de aleta anal a aleta caudal, longitud de aleta dorsal, diámetro de aleta dorsal y longitud de aleta ventral (Fig. a. 2).



**Figura 2.**  
(a) *Peces de los Andes de Colombia Maldonado-Ocampo, J. A. (2005)* (b) *Longitud estándar.*

Los peces fueron diseccionados para identificar el sexo y el hábito alimenticio. A los ejemplares se realizó disección y extracción de las bolsas estomacales, luego se abrieron los estómagos por medio de una incisión recta con ayuda de un bisturí quirúrgico, dejando el contenido en una caja Petri con agua destilada para limpiar y poder observarlo mejor. Se pesaron y midieron los intestinos y estómagos con ayuda de un metro y balanza analítica (Fig. 3). De acuerdo a la metodología utilizada por Villalba Saavedra, para el estudio de Hábitos alimenticios de la trucha arcoíris para el parque forestal embalse del Sisga (Villalba, 2009).



**Figura 3.**

El contenido estomacal fue extraído para poder observar en el estereoscopio de que se componía la dieta de los peces, separando, clasificando por familia y orden los macroinvertebrados usando la “Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia” Gabriel Roldan Pérez (1996).

Los estómagos de los peces colectados fueron pesados usando una balanza analítica; el proceso se realizó con los estómagos llenos como también sin el contenido estomacal además del peso del contenido estomacal, igualmente se tomaron medidas del estómago e intestino de cada ejemplar. Teniendo en cuenta que la *O. mykiss* se caracteriza por ser carnívora el porcentaje en el contenido animal es mayor o igual al 90%, a diferencia del contenido vegetal con un porcentaje de 5 hasta 10% (Villalba, 2009). Una vez dado el porcentaje del hábito para cada pez, se tiene en cuenta el índice de frecuencia de ocurrencia (FO), utilizando la siguiente ecuación:

$$Fo = (n/N) * 100$$

Donde **n** corresponde al número de veces que aparece una presa en la dieta de los peces y **N** es el número total de estómagos analizados.

### **Metodología para el objetivo 3**

Para el desarrollo del estudio de caso se basó en la búsqueda de información bibliográfica en bases de datos digitales como Google académico, Scielo, Sci-Hub, Dialnet, revista AquaTIC y repositorios de universidades sobre la historia de la introducción de la especie *O. mykiss* en Colombia, sus hábitos tróficos en cultivos o ambientes naturales, la revisión de los documentos y el análisis para el cumplimiento de los objetivos.

## Resultados y discusión

### Estado actual de la invasión de la trucha arcoíris en los ecosistemas acuáticos del PNNP

#### Parámetros Físicoquímicos

Entre los parámetros físicoquímicos analizados en la laguna San Rafael se puede enfatizar en la temperatura reportada en el año 2022 fue entre 12 y 15 °C (Tabla 1), lo que indica un incremento en comparación con el estudio realizado en el año 2001 en el mismo lugar donde se reportan 8 y 10°C (Donato, 2001). Este aumento ha sido reportado en otras lagunas altoandinas como en el departamento de Pasco (Perú) en el año 2018 se evidencian aumentos de temperaturas entre 10 y 19°C (Baylón *et al.*, 2018). Es importante considerar los efectos del cambio climático que afectan directa o indirectamente la estructura de la comunidad de peces nativos e incluso de especies invasoras, el modo de alimentación, el comportamiento y los cambios en el funcionamiento del ecosistema (Jeppesen *et al.*, 2010).

Así mismo, en la cuenca del río Pómecca en Boyacá muestra que la *O. mykiss* tiene efecto directo en la dinámica del Nitrógeno (N), proporcionando hasta 47 veces más N a través de la mineralización del amonio que el proporcionado por peces nativos (Alexiades *et al.*, 2022),

Considerando la baja concentración de nutrientes y la ausencia de contaminación por *E. Coli*, se considera un ecosistema oligotrófico, investigaciones indicaron que el oxígeno disuelto disminuye si la temperatura aumenta (Benjumea *et al.*, 2007), contrario a los resultados de las muestras de OD tomadas en las cuatro salidas.

**Tabla 2.** Valores fisicoquímicos tomados en los puntos de muestreo.

ITEM	Salida 1	Salida 2	Salida 3	Salida 4
pH in situ	6,65	6,655	6,61	5,89
Conductividad (13°C) $\mu$ S/cm in situ	35,23	21,55	23,4	9,385
Oxígeno disuelto (mg/L) in situ	7,13	7,93	7,3	6,345
Temperatura °C	13	12,95	15,8	13,265
pH	6,46	6,93	6,87	6,49
Conductividad ( $\mu$ S/cm)	25,5	21,9	26,05	9,57
Turbiedad UNT	3,78	1,94	1,89	1,27
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0,021	<0,01	0,036	0,001
Oxígeno disuelto (mg/L)	7,88	8,1	8	7,95
Nitratos (mg/L)	<0,1	0	0	0,3
Nitritos (mg/L)	< 0,002	0	0,002	1
Fosfatos (mg/L)	<0,02	0,35	0,16	0,07
Sólidos suspendidos totales	0,015	1	<1	<20
DBO (mg/L)	<6,0	<6	8	<6
<i>E. coli</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Coliformes fecales	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
Alcalinidad (mg/L CaCO <sub>3</sub> )		5,4	10	4,3

### Abundancia

Fueron colectados cuatro peces por medio del método de electro pesca en la quebrada Chorrillos que está dentro del área de la laguna San Rafael del PNNP, todos los ejemplares pertenecían a la especie *O. mykiss*; es probable que las truchas encontradas en la quebrada, estén asentadas en ecosistemas naturales o pertenezcan a cultivos aguas abajo en la zona de influencia del PNN Puracé, evidenciando una problemática entre el parque y la comunidad, donde se evidencian los intereses políticos respecto al territorio trayendo como consecuencia la restricción de sus formas de vida como lo es la pesca de la trucha (Bernal *et al.*, 2014).

La presencia de la trucha en ecosistemas acuáticos naturales puede causar impactos en la

dinámica de los mismos; en la Patagonia Andina (Argentina), se realizaron muestreos estacionales, donde se midió la masa de hojarasca, biomasa de perifiton y la biomasa de macroinvertebrados en relación a la presencia y ausencia de la trucha arcoíris, encontrando un efecto cascada donde; la masa de hojarasca disminuyó el 60% con presencia de trucha, mientras que el perifiton aumentó diez veces, es decir la presencia de peces provoca la herbivoría y detritívora aumentando la biomasa de perifiton, contrario a lo que presenta con la ausencia de peces donde la descomposición de la hojarasca y el desarrollo de perifiton fueron controlados por los depredadores (Cruz *et al.*, 2011).

Por otra parte, en la laguna San Rafael se esperaba encontrar especies nativas como *Grundulus bogotensis* (Humboldt y Valenciennes, 1821) y *Trichomycterus bogotense* (Eigenmann, 1912), especies que son de gran importancia endémica para la cuenca del Magdalena y que presentan amenazas por introducción de especies exóticas como lo es la *O. mykiss* (Instituto Humboldt, 2021). Sin embargo, lo que se ha reportado en otros lugares del país es que la trucha arcoíris presenta una mayor biomasa que las especies nativas *T. bogotense* y *G. bogotensis* lo que posiblemente cause el desplazamiento de las especies autóctonas (Alexiades *et al.*, 2022). Los cuatro ejemplares colectados pertenecen a la especie *O. mykiss*.

Los peces colectados en la quebrada Chorrillos que vierte a laguna San Rafael se mantienen en el rango de tamaño entre 12,44 mm y 13,97 mm, con longitud estándar entre 11,14 mm y 9,87mm (Tabla 2). En Dinamarca, los peces colectados presentan un rango de tamaño pequeño, por posibles factores como el aumento de la temperatura (Jeppesen *et al.*, 2010); sin embargo, en el río Los Patos, la trucha arcoíris presenta una longitud estándar entre 12,0 y 36,5 cm (Barros *et al.*, 2004).

*Tabla 3. Medidas merísticas de los peces colectados.*

Medidas	No de pez			
	1	2	3	4
Longitud total	12,20 cm	13,97 cm	13,82 cm	12,44 cm
Longitud estándar	9,87 cm	11,14 cm	10,96 cm	10,34 cm
Distancia interorbital	2,76 cm	3,49 cm	1,67 cm	1,32 cm
Altura	2,49 cm	2,94 cm	2,79 cm	2,41 cm
Longitud aleta caudal	1,15cm	1,47 cm	1,43 cm	1,48 cm
Longitud de boca opérculo	2,24 cm	2,32 cm	2,11 cm	1,92 cm
Longitud aleta anal	1,84 cm	1,83 cm	1,81 cm	1,41 cm
Longitud boca-ojo	0,7 cm	1,19 cm	0,71 cm	0,79 cm
Diámetro del ojo	0,8 cm	0,82 cm	0,99 cm	0,86 cm
Longitud de ojo a opérculo	1,58 cm	1,68 cm	2,98 cm	1,45 cm
Longitud de boca a aleta dorsal	5,21 cm	5,96 cm	5,75 cm	5,42 cm
Longitud de boca a aleta ventral	5,54 cm	6,78 cm	6,34 cm	5,65 cm
Longitud de boca a aleta anal	7,37 cm	8,58 cm	8,45 cm	7,52 cm
Longitud de aleta anal a caudal	1,19 cm	1,79 cm	1,44 cm	1,16 cm
Longitud aleta dorsal	1,76 cm	2,42 cm	1,84 cm	2,11 cm
Diámetro aleta dorsal	2,58 cm	2,77 cm	2,79 cm	2,37 cm
Longitud aleta ventral	1,41 cm	1,54 cm	1,66 cm	1,61 cm

### Sexo

Los cuatro ejemplares colectados en la Laguna San Rafael fueron machos, en vista de que las gónadas de los ejemplares masculinos presentan un tejido muscular liso con un color blanquecino que corresponden a gónadas de machos (Fig. 4). Sin embargo, se considera la presencia de hembras en la quebrada debido a que se encontró un alevino de trucha en el contenido estomacal del pez número dos, lo que indicaría que las truchas se están reproduciendo en la quebrada Chorrillos que vierte a laguna San Rafael.

Al igual que otros salmónidos, las truchas se reproducen sexual y externamente, lo que significa que tanto las hembras (Fig. 1). depositan sus productos sexuales (espermatozoides y óvulos) libremente en el agua, la reproducción se da una vez al año, generalmente en los meses de octubre a marzo en cultivos y de noviembre a febrero en ambientes naturales; el desove lo

hacen sobre arena o grava (Canazas, 2015). Los huevos una vez fecundados eclosionan en el nido construido por la hembra y el desarrollo de este depende de la temperatura del agua, además se tiene en cuenta la duración del ciclo gonadal que dura aproximadamente un año, donde los ovocitos tienen etapas de desarrollo, etapa temprana, crecimiento y maduración, esto de acuerdo a condiciones climáticas o la alimentación de la trucha (Toledo *et al.*, 1994). Esta información debe ser tomada en cuenta si se pretende explorar la reproducción de la trucha en ambientes naturales del PNN Puracé.



**Figura 4.**  
*Gónadas de los ejemplares de trucha arcoíris colectados en la laguna San Rafael PNNP.*

### **Contenido estomacal**

El análisis del contenido estomacal indicó que los cuatro estómagos estaban llenos de alimento, los estómagos de mayor tamaño presentaron un mayor contenido de alimento (Tabla 4). La mayoría del contenido fue de origen animal (94% en promedio) y adicionalmente se encontró material vegetal (1,25% en promedio) y materia orgánica (5% en promedio) (Tabla 4); esto coincide con registros que indican que la trucha es una especie carnívora (Ortiz, 2014).

**Tabla 4.** Medidas y pesos de los estómagos e intestinos.

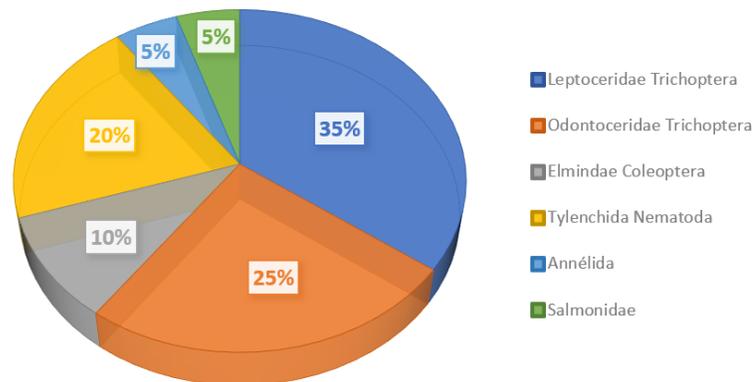
No de pez	Medida estomago	Medida de intestino	Peso estómago lleno	Estómago Vacío	Peso contenido estomacal	Contenido		
						% animal	% vegetal	% detritos
1	5,7 cm	5 cm	1,11	0,81	0,3	90%	5%	5%
2	6 cm	6,5 cm	1,81	1,45	0,36	95%	0	5%
3	5 cm	6,4 cm	1,14	0,98	0,16	90%	0	10%
4	3,3 cm	5 cm	0,99	0,97	0,02	100%	0	0

En diferentes estudios se ha demostrado la relación que existe entre el tracto digestivo con los hábitos alimentarios, el tranco gastrointestinal en peces, se basa en un tubo muscular revestido por una membrana mucosa, para el caso de peces carnívoros como la trucha arcoíris su tracto digestivo es corto con un estomago grande diseñado para contener las presas en diferentes tamaños (Muñoz, 2011); esto conllevan a determinar la influencia morfológica que presenta cada uno de los estómagos e intestinos y de esta manera aprovechar los recursos disponibles, además, se tiene que tener en cuenta el tamaño de la boca y la presencia de dientes, debido a que estas características permite succión de su alimento de fondos blandos, como los que presentan los ejemplares colectados en la quebrada Chorrillos.

El contenido animal encontrado en los peces colectados corresponde en su mayoría a estados inmaduros acuáticos de insectos de la familia Leptoceridae (Trichoptera), Odontoceridae (Trichoptera) y Elmidae (Coleoptera); adicionalmente se encontraron algunos nematodos, un anélido y un ejemplar de alevino de trucha en el estómago de un adulto (Fig. 6). Teniendo en cuenta la ausencia de peces nativos en las colectas y en el contenido estomacal de las truchas, además del comportamiento piscívoro (canibalismo), demostrado en un estudio donde se observó en dos muestras estomacales de trucha lacustre ingeridas por congéneres de tamaños entre 140 y 180 mm (Jason *et al.*, 2006), es posible que la trucha arcoíris hayan desplazado los peces nativos

de los géneros *Trichomycterus* y *Astroblepus* (Cossíos, 2010), y por ello no se encontraron peces de otras especies.

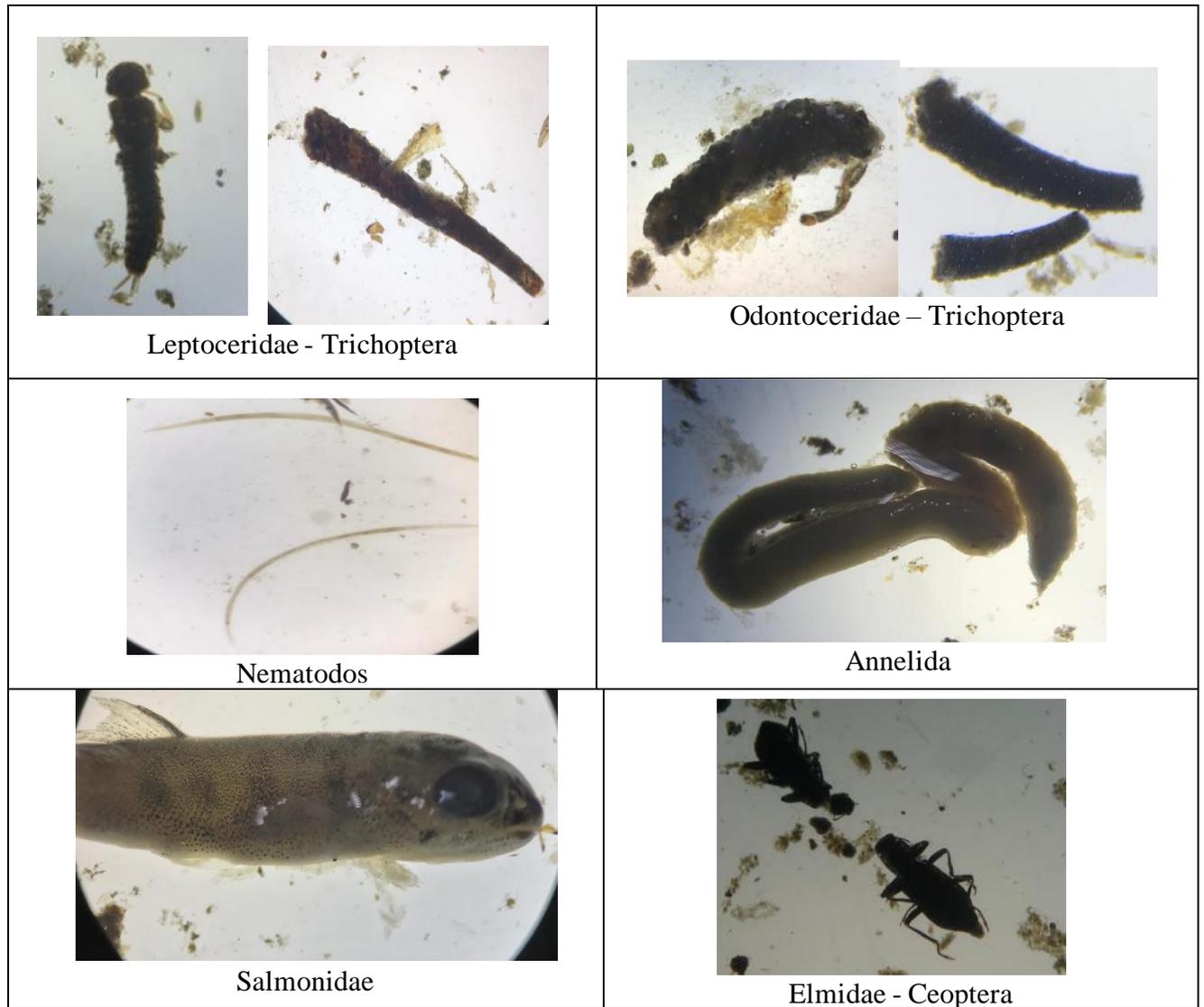
Aparentemente, las truchas colectadas prefieren los ecosistemas con altas corrientes y buena oxigenación (Villamarin *et al.*, 2009) como la quebrada Chorrillos, ya que no se pudieron colectar directamente en la laguna San Rafael. Adicionalmente, el ítem alimentario dominante fueron los Tricópteros (Tabla 3) que habitan principalmente debajo de rocas (Román *et al.*, 2017), sustrato disponible en la quebrada Chorrillos. La laguna San Rafael presenta lecho lodoso que facilitaría el desarrollo de nematodos, hirudíneos y coleópteros acuáticos como *Tropisternus* (Rivera *et al.*, 2013). Se sugiere aumentar el esfuerzo de muestreo en diferentes horas del día utilizar técnicas no invasivas (sensores o sondas) que permitan confirmar los relatos de pescadores locales sobre presencia de trucha directamente en la laguna.



**Figura 5.** Porcentaje de frecuencia de ocurrencia de los individuos analizados.

**Tabla 5.** Frecuencia de ocurrencia de los individuos analizados

No de pez	Leptoceridae Trichoptera	Odontoceridae Trichoptera	Elmidae Coleoptera	Tylenchida Nematoda	Annelida	Salmonidae
1	4	2	2	3	0	0
2	1	1	0	0	0	1
3	0	2	0	1	1	0
4	2	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	7	5	2	4	1	1
<b>Porcentaje FO</b>	35,00%	25,00%	10,00%	20,00%	5,00%	5,00%



**Figura 6.**  
Organismos presentes en el contenido estomacal de los peces.

## **Hábitos tróficos de la trucha en ambientes nativos**

La dieta de los peces es un factor relevante para comprender el impacto o la influencia de las especies exóticas introducidas en sus hábitats, esta consiste principalmente por macroinvertebrados acuáticos, pero también presenta un comportamiento carnívoro, depredando peces de su misma especie, así como peces nativos de áreas donde fue introducida. Por lo tanto, los estudios que se han llevado a cabo sobre la presencia de trucha arcoíris en diferentes países con el objetivo de conocer y analizar lagos, lagunas, ríos y cultivos de la siguiente mediante:

El comportamiento de la trucha arcoíris en el embalse Sisga Colombia estudiada por Villalba (2009), se compone por peces del género *Grundulus*; insectos de los órdenes Hemíptera, Coleoptera y Díptera incluyendo larvas, adultos y restos de los mismos; Mollusca de los órdenes Veneroida, Basommatophora, crustáceos del orden Diplostraca y caracoles del orden Planorbidae y otros que comprende restos vegetales, nematodos, huevos de insectos, restos de peces, granos de lodo y semillas de gramíneas, de la misma forma como lo afirma Mancilla (2010), en los lagos y ríos del sur de Chile, los hábitos alimenticios para salmónidos escapados y asilvestrados: en los peces escapados se observó el consumo de larvas de insectos y peces nativos, el 84% de los salvajes fueron menos del 94% menos a los escapados, entonces se concluyó que consumen mayormente insectos del género Díptera, en ríos que pertenecen a la cuenca de un Lago.

Asimismo, en el río Savegre, San Gerardo de Dota, Costa Rica, se realizó un muestreo para la colecta de trucha arcoíris, analizando 219 estómagos donde se identificó insectos acuáticos principalmente larvas de Díptera y Trichoptera, moluscos y anfípodos, otros grupos encontrados fueron; gasterópodos, tricópteros, efemerópteros y anélidos, otras presas terrestres como: coleóptera, Hymenoptera y Hemíptera, además de restos de truchas, ácaros acuáticos y pupas de Díptera (Naranjo, 2016).

Del mismo modo, en una quebrada altoandina venezolana, donde se estudió los hábitos alimenticios de la trucha arcoíris, Infante *et al* (1994) analizaron 306 estómagos, donde la dieta se compone principalmente de Ephemeroptera, Trichoptera y Diptera, los restos vegetales están representados por algas, semillas y trozos de manera, ahora se analizó la composición de la dieta en relación al sexo, el alimento más importante para hembras y machos es Baetodes, *Baetis* (Leach, 1815) y Chironomidae.

En la mayoría de los casos, la composición de la dieta de *O. mykiss* muestra preferencia por los macroinvertebrados acuáticos que habitan en zonas rocosas, sin embargo, es claro que la dieta varía según la edad y el tamaño, ya que los peces más pequeños prefieren las presas pequeñas, a diferencia de los adultos.

## **Invasión de la trucha en Colombia**

La trucha arcoíris *O. mykiss* es originaria del Océano Pacífico en América del Norte, esta especie se encuentra desde Alaska, hasta México y California (Sanabria, 2016). Desde 1874 ha sido introducida en aguas de todos los continentes con propósitos recreacionales como la pesca deportiva o la acuicultura, siendo una de las actividades económicas de producción de alimentos que ha ido incrementado durante los años (Pineda *et al.*, 2018).

Para Latinoamérica los países como Argentina, Chile, Brasil, Costa Rica, Uruguay, Colombia y México, incluyen las truchas como especie invasora, pero también está presente la tilapia, rana toro, las acacias, retamas, los pinos, jabalí, tamariscos, mejillón dorado, gramíneas africanas y peces plecos, algunos de estos se han establecido en ambientes naturales o semi naturales, otros se encuentran limitados geográficamente o no han sido introducidos aun en áreas protegidas, sin embargo, su categoría de área protegida no la excluye de la presencia de especies invasoras (Biosfera, 2009).

La trucha arcoíris fue introducida en Colombia en el año 1926 por clubes de pesca, ubicados en el lago de Tota – Boyacá (MacCrimmon, 1971), la laguna de Chingaza y en el embalse del Neusa (Cundinamarca), con el fin de repoblar estos lagos de aguas frías, dado que esta especie presenta un mayor valor económico que las especies nativas, desarrollándose a nivel industrial y artesanal, esta especie es de gran importancia para la acuicultura en Colombia, debido a que el 11,36% corresponde a la producción de trucha arcoíris, dado al avance de tecnologías y técnicas de producción desarrolladas (Sanabria, 2016).

Dentro de las especies amenazadas debido a la introducción de la trucha arcoíris está el Pato Torrente *Merganetta armata* (Goul, 1842), se presenta competencia entre las dos especies por el alimento causando además el desplazamiento del Pato, esto por su hábito alimenticio

como las larvas bentónicas de insectos acuáticos adaptados a corrientes rápidas (Cerón *et al.*, 2008), además su dieta se compone por peces del género *Grundulus*, otra especie amenazada es el pez capitán de la sabana *Eromophilus mutisii* (Humboldt, 1805), endémico del altiplano cundiboyacense, debido a la depredación de las ovas y alevines amenazando la abundancia del pez capitán, por la alta abundancia de la trucha arcoíris en el río Bogotá (Lemus *et al.*, 2020), de la misma manera se presenta en Perú donde la presencia de *O. mykiss* predomina en el número de especímenes como en biomasa, pero en especies exóticas y nativas se encontró cierta simpatria en dos arroyos, sin embargo en algunas cascadas con pendientes pronunciadas los peces nativos se encontraban en estado de inanición ocupando cuerpos de agua reducidos y aislados, separados de los salmónidos (Bert, 2007).

Por esta razón existen numerosas alternativas de manejo de especies exóticas a nivel mundial que incluyen a El Programa Mundial de Especies Invasoras (GISP), Grupo Especialista en Especies Exóticas Invasoras de UICN (IUCN – ISSG), Red Global de Información sobre Especies Exóticas Invasoras (GISIN), Programa Global de Especies Invasoras The Nature Conservancy (TNC – GISI) y la Red Internacional de Información sobre Especies Invasoras (IABIN – I3N) (Biosfera, 2009).

Dentro de la producción y comercialización de la trucha arcoíris intervienen muchos agentes económicos como: abastecimiento de alevines de la especie, levantamiento y engorde por parte del piscicultor en estanque o jaulas flotantes, la pesca deportiva, la comercialización y la distribución del filete, además uno de los productos que mayor costo genera es el alimento o concentrado que corresponde al 64% con respecto a los costos totales (Sanabria, 2016). En muchos casos, los cultivos de trucha arcoíris en jaulas flotantes se puede presentar fugas de los peces debido a los fuertes oleajes como al mal manejo de las tapas de las jaulas (Delgado, 2021).

El pueblo Kokonuko perteneciente al municipio de Puracé ubicado en el departamento del Cauca, tienen como actividad económica la piscicultura, donde produce alrededor de 9 000 alevinos de trucha, además de ser su principal fuente de ingreso económico y alimenticio (Bernal *et al.*, 2014), asimismo, el pueblo Misak de Silvia Cauca, con el propósito de erradicar cultivos ilícitos, se tomaron alternativas donde la piscicultura se presenta como una actividad económica factible, teniendo en cuenta la presencia del río Piendamó y sus condiciones de caudal y temperatura para la producción de trucha arcoíris (Trochez, 2018).

Muchos de los pueblos del Cauca se dedican a la piscicultura como un mecanismo de organización familiar, Los Corrales es una empresa familiar legalmente constituida, lo que hace que varios familiares trabajen en ella para favorecer la permanencia de la empresa y la actividad. Esta industria piscícola se desarrolla en una economía con sistemas y técnicas empíricas con el fin de adaptarse a los cambios económicos con el propósito de establecer mercados municipales y nacionales, por esta razón esta alternativa económica ha sido bien aceptada por los pueblos y familias (Trochez, 2018).

Existe una cantidad de estudios relevantes en Colombia sobre el cultivo de trucha, que brinda instrucciones sobre el manejo y mejora de la producción acuícola; sin embargo, la información disponible sobre la ecología en ecosistemas naturales es reducida y de gran importancia si se quiere tomar decisiones sobre el control de esta especie invasora en el país.

## Conclusiones

Este trabajo deja en evidencia la presencia de la trucha arcoíris en la laguna quebrada Chorrillos del PNN Puracé, que ha sido introducida bajo procesos de economía nacional como especie de cultivo; pero que representa una seria amenaza a la biodiversidad nativa debido a sus hábitos tróficos y capacidad de invasión.

De lo anterior, se puede inferir que la trucha arcoíris presente en ecosistemas lagunares altoandinos, como la quebrada Chorrillos y por tanto en la laguna San Rafael del PNNP, y por su condición de especie exótica invasora, es considerada como un posible factor de desplazamiento de las especies nativas, de acuerdo a los resultados presentados donde los ejemplares capturados solo pertenecen a la especie *O. mykiss* y los registros de especies de peces desplazadas en otros lugares del país.

Es así que, a pesar del grado de importancia de las lagunas de alta montaña, el conocimiento biológico, ecológico y ambiental es limitado, por ello resulta necesaria la búsqueda bibliográfica sobre la historia y los efectos de especies introducidas como la trucha arcoíris presente en los ecosistemas acuáticos del PNN Puracé, sin embargo, se obtuvieron investigaciones centradas solamente en áreas de cultivos de trucha en Latinoamérica, donde Colombia tiene un gran vacío de información sobre especies exóticas y nativas para lagunas altoandinas, por esta razón la importancia de invertir esfuerzos en investigaciones sobre los efectos de especies exóticas en ecosistemas naturales pertenecientes a áreas protegidas, para esto es importante estudiar las características de los tractos digestivos debido a que estos intervienen en la captura y asimilación del alimento y de esta manera poder identificar el hábito alimenticio de los ejemplares capturados en la quebrada Chorrillos, teniendo en cuenta las características del estómago e intestino, presencia de dientes y morfología de la boca, en ambientes naturales como

en cultivos, se presenta un comportamiento similar en la preferencia de presas por macroinvertebrados acuáticos, pero al mismo tiempo se evidencia el comportamiento diferente que presenta en hábitats naturales, donde el canibalismo se presenta en la dieta de la trucha.

Estudios del contenido estomacal han encontrado peces de la misma especie, considerando el tamaño de la presa, los peces grandes prefieren peces más pequeños, en el caso de la alimentación de los alevines se da del zooplancton mientras crecen para poder alimentarse de peces.

Al relatar la invasión de la trucha en Colombia se evidencia la baja cantidad de investigaciones que aborden la presencia de la especie en ecosistemas naturales y los posibles efectos que esta tiene en las dinámicas ecológicas de las lagunas de alta montaña en el país.

## Bibliografía

- Alexiades, A. V., González-Gamboa, I., & Herrera-Martínez, Y. (2022). *Onchorhynchus mykiss* alter nutrient dynamics in high-altitude headwater streams in Boyacá, Colombia through displacement of the native fish community. *Environmental Challenges*, 9, 100628.
- Andrade-C., M. Gonzalo. (2011). Estado del conocimiento de la biodiversidad en Colombia y sus amenazas. Consideraciones para fortalecer la interacción ciencia-política. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 35 (137), 491-507. ISSN 2382-4980.
- Barros, S. E., & Gonzo, G. (2004). Poblaciones naturalizadas de truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la Puna de Argentina: bases ecológicas para su manejo. *Memorias: manejo de fauna silverstre en Amazonía y Latinoamérica*, 2(4400), 125-135.
- Becerra Rincón, M. J., & Torres Chocontá, S. V. (2017). Estudio de Factibilidad Económica y Financiera del Cultivo de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en el Municipio de Aratoca-Santander.
- Benjumea Hoyos, Carlos Augusto & Wills Toro, Álvaro. (2007). Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (41), 48-65. <https://doi.org/10.17533/udea.redin>
- Bernal Conde & Christian Camilo. (2014). Cosmovisiones y formas de vida en la construcción del territorio indígena superpuesto por áreas protegidas: Pueblos Arhuaco y Kokonuko en Colombia. Tesis de maestría, FLACSO Sede Ecuador.
- Bert, Theresa M. (2007). Methods and Technologies in Fish Biology and Fisheries. Ecological and Genetic Implications of Aquaculture Activities *Volume 6. The Introduction of Nonnative Fishes into Freshwater Systems of Peru*. 10.1007/978-1-4020-6148-6(Chapter 14), 247–278.
- Biosfera, R. (2009). Especies exóticas invasoras en las Reservas de Biosfera de América Latina y el Caribe.
- Cabra Garavito, E. V. (2019). Caracterización y propuesta para la exportación de trucha Arcoíris colombiana a Aruba.
- Calcetero Barato, A. A (2022). Efecto de tres cultivos comerciales de trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*, sobre la calidad del agua del río Siecha, en Guasca,

Cundinamarca.

- Canazas Chávez, N. R. (2015). Evolución gonadal de las hembras de trucha arco iris (*Oncorhynchus mykiss*) de la piscigranja Pumahuanca-Urubamba.
- Castaño, N., Cárdenas López, D., Gutiérrez, F. D. P., Gil, D. L., Lasso, C. A., & Baptiste, M. P. (2010). Análisis de riesgo y propuesta de categorización de especies introducidas para Colombia.
- Cerón, G., & Trejo, A. (2008). El pato del torrente: conocerlo para protegerlo. *Desde la Patagonia. Difundiendo saberes*, 6 (8), 16-19.
- Cossíos, E. Daniel. (2010). Vertebrados naturalizados en el Perú: historia y estado del conocimiento. *Revista Peruana de Biología*, 17(2), 179-189. ISSN 1727-9933.
- Cruz-Casallas, PE, Medina-Robles, VM and Velasco-Santamaría, YM (2011), Piscicultura de especies nativas en Colombia: situación actual y perspectivas. *Investigación sobre acuicultura*, 42: 823-831.
- David-Rúales, Carlos A., Torres-Toro, Catalina, Hincapié-Ávila, Sara, & Londoño-Londoño, Julián. (2014). Aprovechamiento de residuos de trucha arco iris *Oncorhynchus mykiss*: uso de tecnologías limpias para la extracción de aceite. *Orinoquia*, 18 (Suplemento 1), 294-299.
- Delgado Albarracin, G. L. (2021). Cultivo de truchas (*Oncorhynchus mykiss*) en jaulas flotantes.
- Donato-Rondón J. C. (2001). Fitoplancton de los lagos andinos del norte de Sudamérica (Colombia). Composición y factores de distribución.
- Dudley, N. (Ed) (2008). Directrices para la aplicación de las categorías de gestión de áreas protegidas. Gland Suiza: UICN. 978-2-8317-1088-4.
- Fuentealba Urzúa, P. J. (2018). (Mono) cultivos de trucha arcoíris en la laguna La Cocha, Colombia: trayectorias y transformaciones socioambientales, productivas, culturales y en las relaciones de género dentro del entorno lacustre (Master's thesis, Quito, Ecuador: Flacso Ecuador).
- Gutiérrez Bonilla, F. D. P. (2006). Estado del conocimiento de especies invasoras. Propuesta de lineamientos para el control de los impactos. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt.
- Hardy, RW (2002). Trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*. En Requerimientos de nutrientes y alimentación de peces para acuicultura (págs. 184-202). Wallingford Reino Unido: CABI

Publishing.

- Herrera Rodríguez, G. A. (2015). Áreas de alto grado de endemismo de peces en la Orinoquia andina colombiana a partir de modelos de distribución de especies.
- Howard, G. (1999). Especies invasoras y humedales. *Ramsar COP7 DOC*, 24, 1-11.
- Ibarra, A. A. (2005). Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. *Revista digital Universitaria*. Vol. 6 (8). ISSN 1607-6079.
- Infante, Q., & Segnini, S. (1994). Hábitos alimenticios de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae), en una quebrada altoandina venezolana. *Revista de Biología Tropical*, 685-693. ISSN 2215 – 2075.
- Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt (2021). Los peces del río Grande de la Magdalena: únicos y amenazados.
- Jason P. Dietrich; Bruce J. Morrison; James A. Hoyle (2006). Vías ecológicas alternativas en la red alimentaria del este del lago Ontario: gobio redondo en la dieta de la trucha de lago., 32(2), 395–400.
- Jeppesen, E., Meerhoff, M., Holmgren, K., González-Bergonzoni, I., Teixeira-de Mello, F., Declerck, S. A., ... & Lazzaro, X. (2010). Impacts of climate warming on lake fish community structure and potential effects on ecosystem function. *Hydrobiologia*, 646, 73-90.
- Lage, A. F., & Ríos, K. (1998). Las lagunas de alta montaña. Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía, 7(1), 25-49. DOI 10.15446/rcdg.
- Lemus-Portillo, Ciromar, Echavarría-Pedraza, Monika C., Rojas, Jhon E., Álvarez-Díaz, Jimmy E., León-Pardo, Kelly J., Aguilar-Orjuela, K. Samantha, & Maldonado, Jhonathan F. (2020). Estado de conservación y distribución del pez de agua dulce Capitán de la Sabana *Eremophilus mutisii* en Cundinamarca, Colombia. *Actualidades Biológicas*, 42 (112).
- MacCrimmon, H. R. (1971). World distribution of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 28(5), 663-704.
- Maldonado-Ocampo, J. A., Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Galvis, G., Villa-Navarro, F. A., Vásquez, L., & Ardila, C. (2005). Peces de los Andes de Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, DC Colombia*.
- Mancilla, G. T. O. (2010). Evaluación de hábitos alimenticios de salmónidos escapados y asilvestrados de vida libre en ríos y lagos del sur de Chile (Doctoral dissertation,

- Universidad Austral de Chile).
- Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible (2018). Plan Nacional para la prevención, el control y manejo de las especies introducidas, trasplantadas e invasoras, Diagnostico y listado preliminar de especies introducidas, trasplantadas e invasoras en Colombia.
- Molina, L. V. (2021). Diseño de una guía ambiental para minimizar la afectación del cultivo de trucha en la laguna de tota, municipio de Aquitania, Boyacá.
- Montaña, C. A. (2009). Crecimiento y sobrevivencia en el levante de alevinos de trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en sistemas cerrados de recirculación de agua.
- Mora, G., & Téllez, L. S. (1992). Lago de tota (Boyacá Colombia), con énfasis en la trucha arco iris, *Oncorhynchus mykiss*. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 18 (70), 409-422. ISSN 0370-3908.
- Muñoz Perez, J. L. (2011). Melatonina en el tracto gastrointestinal de la *trucha arco iris*: regulación y papel fisiológico (Doctoral dissertation, Biología funcional e ciencias da saúde).
- Naranjo Elizondo, B. (2016). Ecología trófica de la trucha arcoíris *Oncorhynchus mykiss* (Salmonidae) en el Río Savegre, San Gerardo de Dota, Costa Rica.
- Ortega-Lara, A., Usma, J. S., Bonilla, P. A., & Santos, N. L. (2006). Peces de la cuenca alta del río Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, 7(1), 39-54. DOI 10.21068/c001.
- Ortiz Sandoval, J. J. (2014). Interferencia trófica de salmónidos sobre peces ictiófagos nativos en lagos patagónicos de Chile.
- Parques Nacionales Naturales. (2015). Valores objeto de Conservación (VOC): elementos clave para el monitoreo del parque.
- Parques Nacionales Naturales. (2019). Plan de manejo Parque Nacional Natural Puracé 2020 – 2024.
- Pineda, O. I. V., García, N. G., & González, J. M. T. (2018). Análisis de un sistema de cosecha de agua lluvia a pequeña escala con finalidad pecuaria. *Luna Azul*, (46), 20-32.
- Quijano, A., Navia, J., & Portilla, M. (2014). Contaminantes prioritarios en truchas arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) del municipio de Mutiscua, Norte de Santander, Colombia. *Temas agrarios*, 19(2), 194-205.
- Rangel-Ch., J. Orlando. (2015). La biodiversidad de Colombia: significado y distribución regional. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y*

- Naturales*, 39 (151), 176-200. ISSN 2382-4980.
- Rincón, M. A. P., Hurtado, I. C., Restrepo, S., Bonilla, S. P., Calderón, H., & Ramírez, A. (2017). Metodología para la medición de la huella hídrica en la producción de tilapia, cachama y trucha: estudios de caso para el Valle del Cauca (Colombia). *Ingeniería y competitividad*, 19(2), 109-120.
- Roldan Pérez. (1996). Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.
- Román, C., & Valencia, C. R. (2017). Dieta y reproducción de *Bryconamericus caucanus* (Characiformes: Characidae) en la Quebrada La Venada, Río Quindío, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 22(3), 6296-6309. ISSN 0122 – 0268.
- Roncancio-Duque, N. J., & Vélez Vanegas, L. A. (2019). Valores objeto de conservación del subsistema de áreas protegidas de los Andes occidentales, Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 43(166), 52-64. ISSN 2382-4980.
- Sanabria, Y. A. P. (2016). Historia de la Acuicultura en Colombia. *Revista AquaTIC*, (37). ISSN 1578 – 4541.
- Toledo d, m. Isabel, vivar m, valia, & muga h, claudia. (1994). Ciclo gonadal de hembras reproductoras de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) en la piscicultura de Río Blanco, Los Andes, Chile. *Investigaciones marinas*, 22, 39-43.
- Toledo, V. M. (2005). Repensar la conservación: ¿áreas naturales protegidas o estrategia birregional? *Gaceta ecológica*, (77), 67-83.
- Torres-Barrera, N. H., & Grandas-Rincón, I. A. (2017). Estimación de los desperdicios generados por la producción de trucha arcoíris en el lago de Tota, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18 (2), 247-255.
- Trochez Realpe, A (2018). Planeación estratégica: Análisis a partir de una organización familiar y producción en sociedad en la piscicultura los corrales Silvia-Cauca.
- Universidad de Antioquia. (2014). Guía Ilustrada Peces Cañón del río Porce, Antioquia.
- Valencia-Rojas, M. P., & Figueroa-Casas, A. (2017). Determinación de los factores de vulnerabilidad en lagunas de alta montaña: una aproximación. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 41(161), 511-520. ISSN 2382-4980.

- Villalba Saavedra, A. D. P. (2009). Hábitos alimenticios de la trucha arcoíris, *Oncorhynchus mykiss* (Salmoniformes: Salmonidae) en el parque forestal Embalse del Sisga.
- Villamarín-Cortez, S., Mena-Valenzuela, P., Ganzenmüller, A., Dávalos, A., SVC, S. V. C., MYM, M. Y. M., ... & Arte, I. N. Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (2009). Es una Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN)-Fondo Ambiental del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Quito-Ecuador.
- Villa-Navarro, F. A., Zúñiga-Upegui, P. T., Castro-Roa, D., García-Melo, J. E., García-Melo, L. J., & Herrada-Yara, M. E. (2006). Peces del alto Magdalena, cuenca del río Magdalena, Colombia. *Biota Colombiana*, 7(1), DOI 10.21068/c001.
- Vimos, DJ, Encalada, AC, Ríos-Touma, B., Suárez, E., & Prat, N. (2015). Efectos de truchas exóticas en comunidades bentónicas en arroyos tropicales altoandinos. *Ciencia de agua dulce*, 34 (2), 770-783.