

Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

Trabajo Fin de Maestría

Evaluación del Impacto ambiental en el agua del rio Cácota, Norte de Santander, Colombia, generado por la explotación piscícola de Trucha La Isla

AUTOR: José Augusto Quintero Muiño

Norte de Santander, Cúcuta, Colombia

PROFESOR: Dra. Hakna Ferro Azcona

Enero 2025

Resumen

El cultivo de peces es una alternativa para garantiza la seguridad alimentaria de las poblaciones, siendo la Trucha una de las especies que se adaptan con mayor facilidad al cautiverio. Sin embargo, la producción intensiva de Trucha puede generar cambios físico químicos en el agua, lo que redunda en el deterioro de su calidad, afectando de esta manera tanto a la flora y la fauna nativa del afluente de donde esta se toma. En este sentido, la investigación se propuso como objetivo evaluar el impacto ambiental en el agua generado por la producción de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la explotación piscícola Trucha La isla del municipio de Cácota - Norte de Santander, Colombia. La metodología de la investigación fue la cuantitativa, llevándose a cabo un trabajo de campo donde se recogió información, desarrollando algunas pruebas in situ, mientras que otras debieron ser realizadas en el laboratorio. Para procesar la información se acudió al uso de técnicas estadísticas, que permitieron comparar los promedios de las mediciones que se realizaron a distintas horas y en dos días diferentes. Los resultados mostraron que el agua que entra a la estación cumple con los parámetros de calidad. En un sentido similar, la que sale de la estación igualmente cumple con los parámetros de calidad, por lo que se puede concluir que el nivel de impacto de producción de Trucha es mínimo.

Palabras clave: trucha, impacto ambiental, explotación piscícola, contaminación.

Abstract

Fish farming is an alternative to guarantee the food security of populations, and trout is one of the species that adapts most easily to captivity. However, the intensive production of trout can generate physical and chemical changes in the water, which results in the deterioration of its quality, thus affecting both the native flora and fauna of the tributary from which it is taken. In this sense, the objective of the research was to evaluate the environmental impact on water generated by the production of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss) in the fish farm Trucha La Isla in the municipality of Cácota - Norte de Santander, Colombia. The research methodology was quantitative, carrying out field work where information was collected, developing some tests in situ, while others had to be carried out in the laboratory. To process the information, statistical techniques were used to compare the averages of the measurements taken at different times and on two different days. The results showed that the water entering the station complies with the quality parameters. In a similar sense, the water leaving the station also complies with the quality parameters, so it can be concluded that the level of impact on trout production is minimal.

Keywords: trout, environmental impact, fish farming, pollution.

Dedicatoria

A mi familia, quienes con su apoyo incondicional han sido mi pilar en cada paso de este recorrido académico. Gracias por inculcarme desde temprana edad el valor del esfuerzo, la dedicación y la curiosidad por el conocimiento. Su ejemplo de perseverancia, amor y sacrificio ha sido una fuente constante de motivación para superar cada obstáculo y alcanzar este logro. Este trabajo no hubiera sido posible sin su confianza en mí y su aliento inquebrantable, incluso en los momentos más difíciles.

José Augusto Quintero Muiño

Agradecimientos

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificios han sido fundamentales para que este sueño se haga realidad. Gracias por ser mi guía y por enseñarme, a través de su ejemplo, el verdadero significado de la perseverancia y el trabajo duro.

A mi directora de tesis, Dra. Hakna Ferro Azcona, por su invaluable orientación, paciencia y consejos a lo largo de todo este proceso. Su experiencia y dedicación no solo han sido cruciales para la realización de este trabajo, sino que también me han inspirado a crecer como profesional y como persona.

Finalmente, a mi familia y seres queridos, por su comprensión, paciencia y ánimo constante durante los días más largos y las noches más cortas. A todos los que, de una u otra manera, han dejado una huella en este camino, les extiendo mi más profundo agradecimiento.

José Augusto Quintero Muiño.

Contenidos

Resumen ii

Abstract iii

Dedicatoria iv

Agradecimientos v

1. Marco introductorio 1

1.1 Problema de investigación 1

1.2 Justificación 3

2. Marco teórico 5

2.1. Antecedentes del estudio 5

2.1.1. Antecedentes Internacionales 5

2.1.2. Antecedentes Nacionales 9

2.2. Bases teóricas de las variables de investigación 13

2.2.1. Impacto ambiental 13

2.2.2. Evaluación del impacto ambiental 15

2.2.2.1. Concepto). 15

2.2.2.2. Metodologías de Evaluación de Impacto Ambientals. 16

2.2.3 Calidad del agua 19

2.3. Marco Conceptual 20

2.3.1 Acuicultura 20

2.3.1.1. Definición)..... 20

2.3.1.2. Acuicultura sostenible. 20

2.3.1.3. Acuicultura Intensiva..... 21

2.3.1.4. La Trucha..... 22

2.3.1.5. Ciclo de vida de la Trucha..... 22

2.3.1.6. La Trucha Arcoíris. 23

2.3.2 Parámetros generales para el cultivo de trucha 23

2.3.2.1. Oxígeno disuelto. 23

2.3.2.2. Temperatura..... 24

2.3.2.3. Sólidos suspendidos en el agua 24

2.3.2.4. El pH..... 25

2.3.2.5. Amoniaco y compuestos nitrogenados2). 25

2.3.2.6. Conductividad eléctrica 26

3. Marco Empírico.....27

3.1 Hipótesis..... 27

3.2 Objetivo general 27

3.3 Objetivos específicos..... 27

3.4. Metodología 27

3.4.1. Enfoque de la investigación 27

3.4.2. Diseño y tipo de investigación 28

3.4.3. Población y muestra 28

3.4.4. Instrumentos de evaluación 29

3.4.5. Resultados y discusión 30

3.4.5.1. Medición de los parámetros físico-químicos del agua utilizada por la estación piscícola. 30

3.4.5.2 Evaluación del impacto ambiental por consecuencia de la explotación mediante instrumentos de evaluación. 36

3.4.5.3 Recomendaciones para mejorar los parámetros de contaminación del agua. 41

3.5 Discusión de resultados 41

4. Conclusiones y recomendaciones.....44

4.1 Conclusiones 44

4.2 Recomendaciones..... 45

5. Referencias 46

Apéndices 56

Índice de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1 Valores obtenidos de forma empírica 31

Tabla 2 Prueba de Wilcoxon para comparar medias de Ph por día..... 32

Tabla 3 Prueba de Wilcoxon para comparar medias de temperatura por día..... 33

Tabla 4 Prueba de Wilcoxon para comparar medias de conductividad eléctrica por día..... 33

Tabla 5 Prueba de Wilcoxon para comparar medias Sólidos Totales Disueltos por día..... 34

Tabla 6 Prueba de Wilcoxon para comparar medias nitritos por día 34

Tabla 7 Prueba de Wilcoxon para comparar medias nitrógeno amoniacal por día..... 35

Tabla 8 Prueba de Wilcoxon para comparar medias O_2 disuelto por día..... 35

Tabla 9 Prueba de Wilcoxon para comparar medias Sólidos Suspendidos Totales disuelto por día 36

Tabla 10 Comparación Ph medido Vs valor aceptado para calidad del agua 36

Tabla 11 Valores de conductividad eléctrica obtenidas 37

Tabla 12 Valores de sólidos totales disueltos..... 38

Tabla 13 Valores de nitritos 38

Tabla 14 Valores de nitrógeno amoniacal..... 39

Tabla 15 Valores de oxígeno disuelto 40

Tabla 16 Valores de sólidos suspendidos totales 40

Figuras

Figura 1 Ciclo para la determinación de un efecto vs un impacto ambiental 14

Figura 2 Metodología Análisis Árbol de Fallas 18

Figura 3 Ciclo de vida de la Trucha 22

Figura 4 Puntos de toma de muestras..... 31

Apéndices

Apéndice 1. Registro fotográfico de la toma de muestras..... 56

1. Marco introductorio

Colombia cuenta con una gran riqueza hídrica junto a una geografía variada y condiciones climáticas estables, lo que facilita el desarrollo de la acuicultura de una importante variedad de especies (AUNAP, 2014). De igual manera, el crecimiento poblacional hace que se dé una mayor demanda de alimentos, y por consiguiente es importante incrementar la producción. Sin embargo, esta situación dispara el uso de los recursos medioambientales que junto a técnicas de cultivo poco eficaces pueden generar impactos negativos en el entorno (Luna, 2011).

En este orden de ideas, a nivel nacional la acuicultura no era considerada una actividad contaminante, por lo que solo hasta el segundo semestre del 2012, el gobierno nacional, a través de sus entes territoriales, inicia controles para el uso del recurso hídrico (Luna et al., 2016). Esto implica que los cultivos de peces son generadores de contaminación de las fuentes hídricas, y por lo tanto, se hace necesario establecer medidas para mitigar los índices de contaminación generados por estas prácticas. Desde esta perspectiva, la presente investigación busca verificar si el cultivo de trucha en la estación piscícola la Isla del Municipio de Cácota – Norte de Santander, Colombia- tiene incidencia en la calidad del agua del río Cácota.

1.1 Problema de investigación

La producción intensiva de trucha arcoíris requiere del uso de grandes cantidades de agua, además, esta debe ser de buena calidad. Sin embargo, a través de estudios como los planteados por Vásquez et al. (2016), se enfatiza que este tipo de explotación impacta negativamente sobre el medio ambiente, principalmente por los residuos que deja el manejo de la actividad, afectando de esta forma la calidad del agua de las fuentes hídricas que sirve de suministro. Entre los factores que las afectan se encuentran los asociados a los alimentos empleados para el consumo del animal, las prácticas de manejo (uso de antibióticos y/o sustancias químicas) y el mismo proceso

de obtención del producto final, del beneficio, pueden comprometer la sostenibilidad de los procesos de acuicultura (Buschmann, 2001).

En este orden de ideas, el uso de concentrados comerciales en el cultivo intensivo de peces es uno de los insumos primordiales en el desarrollo esta actividad, pero también son una importante fuente de contaminación, razón por la cual, al momento de la alimentación debe hacerse un cálculo adecuado de la dieta ya que, si esto no se hace adecuadamente, puede repercutir en aspectos de productividad, rentabilidad y sostenibilidad, afectando principalmente la calidad del agua que se revierte a las vertientes acuíferas (Vásquez et al., 2016).

En este sentido, se puede afirmar que el impacto de las industrias piscícolas va ligada a los procesos de la alimentación, restos de la excreta, químicos y fármacos usados, animales muertos o moribundos. De estos los principales contaminantes en los efluentes son el alimento no consumido, aquel que no fue completamente digerido y las excretas del pez (Cripps y Bergheim, 2000).

De otro lado, la trucha es un animal que requiere de condiciones óptimas para su desarrollo, especialmente en la calidad y la cantidad de agua. De igual forma, se requiere que su hábitat cumpla con unas condiciones de inocuidad específicas. Esto obliga al personal encargado a realizar limpiezas constantes de los estanques, las cuales pueden presentar acumulación de sedimentos, ya sean por excreta animal o residuos de concentrado comercial, disminución del oxígeno de la columna de agua, alteraciones del pH, entre otros (Luna et al., 2016).

Desde esta perspectiva, en la estación piscícola la Isla se hace necesario hacer una revisión sobre los posibles impactos que tiene el cultivo de truchas sobre las aguas de río Cacota, ya que las excretas de los animales, así como los residuos de la alimentación pueden ser una posible fuente contaminante que afecta la calidad del agua. Por lo tanto, la pretensión de hacer un estudio del agua que se vierte nuevamente al río después de pasar por los estanques de cultivo son o no

una fuente de contaminación, es decir, verificar el impacto que el cultivo tiene sobre la calidad del agua del citado río.

Partiendo de esta premisa, esta investigación busca evaluar el impacto generado por la producción de trucha arcoíris, a través de sus efluentes al río Cácota, enfocando el análisis en la etapa de levante del ciclo productivo del pez. Teniendo en cuenta esta problemática, el Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) es una herramienta que pretende determinar, desde su enfoque técnico, cuáles son los impactos generados por la explotación piscícola, proyectada a una eventual expansión. Esto plantearía alternativas para la eliminación o mitigación de estas alteraciones (Coria, 2008).

Se espera que al momento de evaluar el impacto ambiental generado por la estación piscícola La Isla en el municipio de Cácota - Norte de Santander, se puedan establecer las posibles falencias del sistema, en cuanto al manejo integral (producción y efluentes), para así implementar medidas de corrección y mitigación ambiental para una producción sostenible.

En este orden de ideas, las situaciones asociadas al cultivo de truchas hacen pensar en la necesidad de reconocer de qué forma y hasta qué punto la producción de trucha está afectando el entorno donde se desarrolla, para lo cual se hace necesario determinar qué factores y en qué medida afectan al río Cácota y sus afluentes, por lo cual surge la pregunta de investigación: ¿Cuál es el impacto de la estación piscícola de trucha La Isla en la calidad del agua del río Cácota – Norte de Santander- Colombia?

1.2 Justificación

El cuidado de las fuentes de agua es una tarea fundamental que ha ido tomando relevancia en las últimas décadas. Dese esta perspectiva, todos los sectores de la sociedad deben contribuir a su defensa debido al papel fundamental que esta tiene para la vida humana. Sin embargo, en el

momento actual son diversas las fuentes que pueden contaminarla. En este sentido, la industria se convierte en uno de los focos que tiene mayor incidencia en la calidad de las fuentes de agua.

Sin embargo, es preciso decir que la producción industrial de alimentos es esencial si se quiere asegurar la provisión de alimentos para toda la población, lo que implica que dejar de producir no es una opción viable como forma de proteger el medio. Es precisamente por ello que las empresas deben monitorear constantemente el impacto ambiental de sus actividades, de manera de tener los elementos de juicio necesario para establecer los correctivos, ya que una de las responsabilidades de la industria moderna es apuntar al desarrollo sostenible, especialmente cuando las plantas de producción se encuentran en zonas de influencia de recursos hídricos, siendo precisamente esto lo que justifica el presente proyecto de investigación, pues se pretende realizar un análisis del impacto de la explotación piscícola de trucha la Isla en las aguas del río Cácota.

En cuanto al impacto del proyecto, se espera establecer los indicadores del nivel de impacto de la producción de truchas sobre la calidad del agua del río Cácota, buscando la expansión de la producción, sin que esto implique un mayor grado de contaminación para las fuentes de agua de la zona, situación que puede impactar negativamente en la flora y fauna nativas de la región, acotando que el río Cácota es un importante impulsor de la economía de su región de influencia, debido a que sirve como fuente de agua para la zona rural debido es fuente para la irrigación del cultivos en la zona.

Respecto a la conveniencia de la investigación se puede decir que es una forma de aportar desde la academia al mejoramiento de las condiciones ambientales de las regiones, lo que puede contribuir a que se pongan en práctica una serie de acciones para favorecer a los productores, pero buscando mitigar el impacto ambiental que pueden generar sus actividades, en este caso en le cultivo de trucha

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes del estudio

La Evaluación del impacto ambiental (EIA) es una de las herramientas más importantes en materia de prevención para la correcta gestión de los recursos medioambientales con los que dispone la sociedad y que puedan influir en su calidad de vida, apoyados en estudios técnicos, lo que conduce a dar declaraciones sobre la idoneidad del proyecto (Gómez y Gómez, 2013).

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Machaca et al. (2022) se propusieron como objetivo realizar una evaluación del impacto sobre el entorno como resultado de la crianza de alevinos trucheros, cultivados de forma artesanal, en la laguna Aricota en el Perú. El enfoque de la investigación fue el cuantitativo. La población de estudio fue el agua del lago Tacna. Para llevar a cabo la investigación se tomaron muestras de agua con la finalidad de reconocer parámetros físicos como la conductividad, el PH, oxígeno disuelto y la temperatura, tomándose muestras en cuatro puntos específicos, a la información se le dio un tratamiento estadístico. Los resultados muestran que el impacto medioambiental negativo es leve, es decir, que el agua de la laguna no presenta indicio de contaminación orgánica ni biológica.

De otro lado, al realizar el análisis de la cantidad de metales presentes, se encontraron altos niveles de arsénico y boro, si se compara con los niveles establecidos dentro de los estándares de calidad para este tipo de cuerpos de agua. De igual forma, se pudo reconocer la existencia de importantes niveles de fosforo (Machaca et al., 2022). En cuanto a los aportes de la investigación al presente trabajo, se puede decir que este sirve como parámetro de comparación, de los resultados encontrados.

Beraún (2023) planteó una tesis de maestría para la Universidad Nacional del Centro de Perú en la que se propuso como objetivo reconocer la relación existente con la sostenibilidad ambiental y producción de truchas. En este sentido, la metodología tuvo un enfoque mixto de investigación, con alcance descriptivo relacional. De acuerdo con el investigador, la población estuvo constituida por todos los colabores internos del centro piscícola. Desde esta perspectiva, se pudo encontrar que el compromiso de los empleados es fundamental cuando se pretende tener un cultivo sostenible.

En este sentido, se pudo verificar que existe una relación entre el compromiso de la organización y la sostenibilidad medio ambiental. De igual forma, es preciso decir que se contribuyó en la construcción de literatura en una temática que poco ha sido abordada en el Perú. Ahora bien, el trabajo deja importantes aportaciones, ya que sirve como referente para entender como la producción de truchas es un agente contaminante y, por lo tanto, se requiere monitorear la forma como esta incide en su entorno, en especial de los cuerpos acuíferos de influencia.

Orna (2024) se propuso como objetivo investigar el impacto de la truchicultura de jaulas flotantes en la bahía de Puno, Perú. Para alcanzar este objetivo, se llevaron a cabo una serie de estudios fisicoquímicos y biológicos sobre la calidad del agua en las zonas de influencia. En este sentido, la información fue analizada por métodos multivariados, encontrándose que la actividad no ocasiona altos grados de contaminación ni alteraciones en el entorno. Sin embargo, se pudo reconocer la existencia de un nivel de contaminación leve, pero constante.

De otro lado, la cantidad de nutrientes encontrados en las distintas zonas se encuentran en tres los niveles aceptables, pero se pudo detectar una importante disminución en los niveles de oxígeno, especialmente en las zonas aledañas a las jaulas. Otro aspecto relevante es el nivel de transparencia del agua, que tiende a ser menor al acercase a las zonas de proximidad del cultivo. De igual manera, se pudo reconocer un incremento importante en los niveles de fosforo y nitritos

en las zonas de mayor concentración del cultivo, pero no sobrepasan los niveles permitidos (Orna, 2024). En cuanto a la importancia del trabajo para la presente investigación, se puede decir que esta da pautas pare entender si el cultivo de truchas en las inmediaciones del rio Cácota tienen niveles similares a los encontrados en la investigación referenciada.

Ruelas et al. (2020) se propusieron como objetivo llevar a cabo un análisis de las medidas regulatorias pare el uso del recurso hídrico en la acuicultura mexicana. En este sentido, la metodología de la investigación fue la cualitativa con diseño documental. En cuanto a la población de estudio se llevó a cabo una revisión del censo acuícola del estado de Veracruz. Los resultados mostraron que la disponibilidad del agua se encuentra en riesgo debido al no cumplimiento de los permisos para su uso, el valor del servicio y las empresas productoras no reguladas. De igual forma, otro factor trascendental es la ubicación de emprendimientos en sectores con bajos niveles de disponibilidad del recurso hídrico. Desde esta perspectiva, los autores consideran que se debe tomar en consideración no sólo las restricciones técnicas de los productores, sino que es fundamental tener en cuenta la dimensión ambiental.

Herbozo (2024) elaboró una investigación que se propuso como objetivo medir cuál es el nivel de incidencia de los agentes contaminantes provenientes del cultivo de peces en el sistema de manglares en una provincia del Ecuador. En cuanto al enfoque de la investigación este fue el cuantitativo con diseño no experimental, alcance descriptivo transversal. Respecto a la población, esta estuvo constituida por las empresas productoras de los langostinos de la provincia de Tumbes. Los resultados muestran la existencia de una relación entre el tipo de cultivo, es decir, si este es intensivo o semi intensivo. De igual forma, se pudo demostrar que los indicadores fisicoquímicos no son un riesgo para el equilibrio del ecosistema. Un aspecto relevante es la presencia de solidos suspendidos en el agua, que básicamente son nitrógeno, materia orgánica y fosforo.

Crespo y Jiménez (2021) realizaron una investigación cuyo objetivo fue identificar los acuerdos e instrumentos normativos que vinculan la acuicultura y el desarrollo sostenible en la República Mexicana. El enfoque de la investigación fue el cualitativo con diseño documental. Los resultados muestran que la sostenibilidad se convierte en la base de la llamada economía azul. De igual forma, se pudo reconocer una concordancia entre las normativas vigentes. Sin embargo, la falta de gestión, así como la falta de ordenamiento y el impacto que estos factores tienen en el medio ambiente, son un condicionante para el desarrollo sostenible, lo que lleva recomendar que se le dé más atención a la articulación productores normatividad para alcanzar ideal de la sostenibilidad.

Simon et al. (2023) llevaron a cabo una reconstrucción de las controversias sobre la promoción del estado en cuanto a la acuicultura sustentable. En este sentido, el enfoque de la investigación fue el cualitativo, para lo cual se aplicaron entrevistas a 27 informantes claves de una región de Chile. Los resultados muestran que la controversia tiene más un trasfondo social que medioambiental. En este orden de ideas, se pudieron reconocer dos marcos interpretativos, la acuicultura sustentable como una forma de alcanzar el bienestar y, por el otro lado, la acuicultura como una estrategia económica y política. Esto implica que no existe un consenso respecto a la importancia de esta actividad económica.

Ponce et al. (2022) realizaron una investigación cuyo objetivo fue realizar un análisis situacional de la región y la determinación del comportamiento de la industria en Chile. La metodología fue la cuantitativa. La recolección de datos se hizo a partir de fuentes secundarias. Los resultados muestran que esta actividad tiene un crecimiento del 20% en América Latina y tiene mayor relevancia en Chile, Ecuador, México, Honduras, Colombia, Perú, Panamá y Chile, siendo el producto relevante la producción de salmónidos. De igual importancia son la producción de Tilapia, acotando que estos productos se cultivan de forma industrial. Sin

embargo, existen cultivos más artesanales, cuya finalidad es la generación de empleo, con atenuante tiene un bajo nivel de control ambiental.

Troncoso y Chacón (2022) llevaron a cabo un análisis crítico desde la perspectiva jurídica y su aplicación práctica en los proyectos acuícolas y su impacto ambiental en Chile. La investigación fue de corte cualitativo con diseño documental. Los resultados muestran que existe un importante cuerpo normativo respecto a la actividad dirigida al desarrollo sostenible. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que en la construcción de la normatividad no se da una verdadera participación ciudadana, no existen líneas bases, pero especialmente faltan medidas para mitigar los daños resultados de la producción acuícola.

Muñoz (2022) se propuso como objetivo en su estudio llevar a cabo un análisis de la presencia de metales y metaloides en peces en la presa La Purísima en México, al igual que realizar una propuesta para hacer uso del agua residual provenientes de la crianza de peces como fertilizante biológico agrícola. El enfoque de la investigación fue el cuantitativo y para hacer el análisis propuesto se hizo una recolección de peces con apoyo de los pescadores locales. Los resultados de la investigación muestran la presencia de concentraciones altas de cromo, cadmio, plomo y arsénico en la piel de los especímenes. Asimismo, se observaron buenos resultaos a partir de la utilización del agua residual proveniente de la cría controlada de peces y su uso como fertilizante biológico.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

González et al. (2022) afirman que la piscicultura es importante, ya que contribuye en la producción de proteínas animales, sin afectar las poblaciones nativas. En este sentido, el estudio buscó reconocer la existencia en los cambios en la calidad del agua, así como la existencia de sedimentos en el cultivo de trucha en la laguna de Cocha, en el departamento de Nariño, Colombia.

En este sentido, se buscó medir parámetros fisicoquímicos, nutrientes y sedimentos, mediante procesos estadísticos, buscando la existencia de diferencias estadísticas significativas. Los resultados muestran la existencia de cambios fisicoquímicos en las zonas de cultivo, con respecto a los puntos de control, especialmente donde existe influencia de las actividades humanas, es decir, que pudo determinar que los procesos acuícolas son elementos que alteran la calidad de los cuerpos de agua, pero, a pesar de ello, se pudo concluir que los niveles de cambio son aceptables. Otro aspecto relevante a tener en cuenta es como el aumento de las lluvias es un elemento dinamizador de los niveles de contaminación (González et al., 2022). En este sentido, el trabajo deja importantes aportaciones respecto a cómo el cultivo piscícola es un agente de contaminación y los resultados encontrados sirven como parámetro de comparación para la presente investigación.

Arévalo y Urrego (2021) se propusieron como objetivo en su estudio el diseño de un programa de educación ambiental para una estación de cultivo de peces, en la pretensión de disminuir su impacto ambiental. En cuanto a la metodología propuesta, esta se centró en el paradigma positivista, es decir, el enfoque cuantitativo. Para la recolección de la información se acudió a fuentes secundarias, con la finalidad de elaborar una política de protección ambiental.

En cuanto a los resultados, se pudo percibir que la implementación de la política es fundamental, puesto que la producción de trucha tiene importantes impactos en el medio. Por lo tanto, se requiere una actuación por parte de la empresa. En este sentido, se buscan generar espacios para la capacitación de los empleados, buscando generar conciencia sobre la necesidad de comprometer a los operarios en las tareas ambientales. Igualmente, es preciso decir que el trabajo deja importantes aportaciones respecto a la importancia que tiene hacer que la acuicultura sea una actividad sustentable, entendiendo que esta genera una importante cantidad de empleos directos e indirectos.

Soto (2022) formuló una estrategia para el desarrollo de la piscicultura en un municipio del Departamento del Cesar, buscando que esta sea sostenible. La investigación fue de corte cualitativo con diseño documental. Los resultados mostraron que la actividad de cultivo de peces puedes ser sostenible y que estas pueden integrarse a los planes de desarrollo de los municipios con miras a contribuir al cumplimiento de los objetivos de Desarrollo Sostenible que el país se ha comprometido a fomentar. En este sentido, se propone la incorporación de la Acuaponía como una forma de aprovechar los productos residuales de la acuicultura para el desarrollo de la agricultura. La investigación es importante, ya que muestra una forma opcional de hacer uso de los residuos, para incentivar otros proyectos productivos.

Peña y Sánchez (2021) determinaron los mecanismos para la optimización del sistema de recirculación RAS en la producción de tilapia en los departamentos de Tolima y Huila. El enfoque de la investigación fue el cuantitativo exploratorio. Entre tanto la población estuvo conformada por los productores piscícolas de los dos departamentos de estudio. Los resultados muestran que la inclusión de nuevas tecnologías contribuye en la disminución de los costros de producción, pero también contribuyen al mejoramiento de los niveles de sostenibilidad ambiental. En este sentido, el trabajo es relevante, ya que muestra cómo se puede apostar a la producción de especies animales, haciendo que los proyectos impacten en la menor medida posible el entorno donde se desarrollan.

Burbano et al. (2021) determinaron como la producción extensiva, intensiva y semi intensiva de trucha produce sedimentos y cultivos bacterianos nitrificantes. El enfoque de la investigación fue el cuantitativo y se buscó establecer la relación existente entre los parámetros en los tres tipos de cultivo. Los resultados muestran variaciones estadísticamente significativas entre los diferentes sistemas de cultivo y las mediciones de control. De igual forma, se pudo reconocer correlaciones altas entre las bacterias nitrificantes y los compuestos nitrogenados, el material

orgánico de desecho y los niveles de fosforo sedimentarios. Asimismo, se concluyó una correlación entre la proliferación bacteriana y los compuestos nitrogenados. De igual forma, se encontró la cantidad de bacterias nitrificantes aumenta en la medida en que la producción se hace más intensiva. En cuanto a los aportes del trabajo a la presente investigación, se puede decir que estos sirven como parámetros de comparación.

Naspirán et al. (2022) establecieron los principios del sistema de Acuicultura Multi-Trófica Integrada, como método alternativo en los sistemas producción de peces. La investigación, de enfoque cualitativo y diseño documental, muestra los principios que deben ser tenidos en cuenta para el uso de estos sistemas de producción, cuyo propósito es hacer que esta sea sostenible y afecte en el menor grado posible el entorno donde se desarrollan. El trabajo deja aportaciones importantes, ya que permite reconocer la existencia de sistemas amigables, cuyos parámetros sirven como elemento de comparación para las mediciones a realizar en la presente investigación.

González y Rosado (2022) se propusieron como objetivo realizar una caracterización y comparación de la composición sedimentaria que ofrezca información sobre las fuentes que pueden generar un impacto medioambiental en el cultivo de peces en la región Andina de Colombia. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, mientras que la población fue aproximadamente de 354.000 individuos. Los resultados muestran que se dan diferencias estadísticamente significativas en los niveles de material orgánico, carbono orgánico y la relación entre el carbono y el nitrógeno, entre los sectores cercanos a las zonas de producción y las más lejanas. Los resultados sirven como parámetros de comparación para los resultados encontrados en la presente investigación.

Chaverra (2022) llevó a cabo una revisión sobre los desafíos que enfrenta los sistemas de recirculación acuícola y el biofloc relacionados con la acumulación de sólidos, al igual que con las acciones que se pueden tomar en consideración para mitigar su impacto. El enfoque de la

investigación fue el cualitativo con diseño documental. Los resultados muestran que el uso de microorganismo como herramienta para mitigar los daños ambientales en la producción piscícola ha ido tomando relevancia, dando resultados que evidencian su importancia dentro de los sistemas de cultivo de peces. La investigación aporta una serie de conceptos que pueden ser útiles para el trabajo a llevar a cabo.

Cabo et al. (2021) realizaron un análisis de las estrategias de responsabilidad social para gestionar el sector acuícola en el departamento del Valle, buscando una producción sostenible. El enfoque de la investigación fue el cualitativo y su alcance el descriptivo, con diseño documental. Los resultados muestran que la producción piscícola dinamiza la economía de la región. Sin embargo, uno de las problemáticas que dejan este sector de la producción es el impacto sobre el medio ambiente, por lo que surge la necesidad de establecer políticas que, además de incentivar la producción, contribuyen en la mitigación de los efectos sobre el entorno. El trabajo es relevante, ya que muestra como el sector acuícola busca alternativas para mejorar los efectos de su actividad.

2.2. Bases teóricas de las variables de investigación

2.2.1. Impacto ambiental

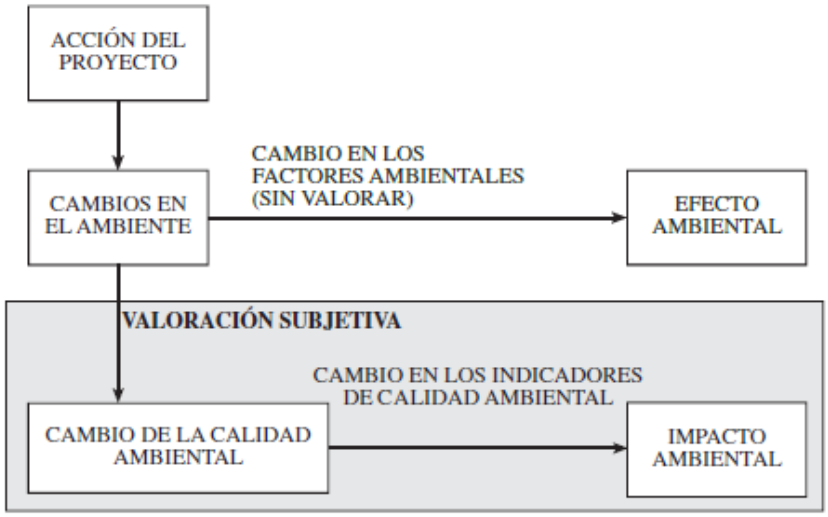
Se puede definir impacto ambiental como la alteración del medio ambiente debido a la actividad humana. En este sentido, Toala et al. (2020) afirman que el impacto ambiental hace referencia a cualquier cambio que se da en un entorno, sin importar si este es dañino o beneficioso, y que son el resultado de las actividades de los seres humanos. Sin embargo, se debe tomar en consideración que no a todas las variaciones cuantificables de un factor ambiental se les puede llamar de esta manera, ya que hay que tener en cuenta las variaciones naturales, fruto de situaciones específicas, como las estaciones del año o por algunas perturbaciones cíclicas, de tal

forma que los impactos ambientales están producidos directa o indirectamente por la actividad humana.

De igual forma, es importante comprender qué es un efecto ambiental, que puede describirse como un cambio en el ambiente producido por una actividad humana, pero que aún no ha sido estudiado o valorado (Garmendia et al., 2005). En este sentido, en la figura 1 se presenta lo que se considera un efecto y un impacto ambiental.

Figura 1

Ciclo para la determinación de un efecto vs un impacto ambiental



Nota. Fuente: Tomado de Garmendia et al. (2005)

Otra forma de entenderlo es a partir de la concepción presentada por Juan (2017), quien afirma que el impacto ambiental hace referencia a los cambios, favorables o desfaborables, que se dan en algun o algunos componentes del medio, todo esto derivado de la acción humana. En un sentido similar, el Servicio de Evaluación Ambiental (2023) lo concibe como “alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada” (p. 3).

De otro lado, Pinilla (2017) retoma el concepto esbozado por el Decreto 2820 del 2010, que considera que el impacto ambiental tiene que ver con las alteraciones del sistema ambiental, ya sea biótico o abiótico, pero también el socioeconomico, sin importar si este es favorable o desfavorable, resultado de la ejecución de algún proyecto, obra o actividad.

En conclusión, se puede observar que al hacer referencia a impacto ambiental, todos los autores referenciados concuerdan en que el impacto ambiental se encuentra relacionado con la actividad humana, lo que implica que es el hombre quien afecta el medio a partir de sus acciones.

2.2.2. Evaluación del impacto ambiental

2.2.2.1. Concepto. La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un documento en el cual, mediante una serie de estudios, se valora el impacto ambiental presente o potencial que hace parte de una obra o actividad (Yáñez, 2008). Cabe decir que al realizar una EIA no se busca evitar la ejecución de una actividad, por el contrario, lo que se quiere es tener una visión más clara de los impactos con el propósito de elegir la mejor opción de intervención, enfocándose en el mejoramiento de la calidad ambiental del entorno afectado (Garmendia et al., 2005).

Asimismo, Espinoza (2001) afirma que “la EIA es un análisis sistemático, reproducible e interdisciplinario de los impactos potenciales, tanto de una acción propuesta como de sus alternativas, en los atributos físicos, biológicos, culturales y socioeconómicos de un área geográfica en particular” (p. 24). Entre tanto, Toro et al. (2013) señalan a la EIA es un proceso técnico-administrativo usado para informar a la comunidad sobre los impactos presentes en proyectos, obras o actividades (POA) y así esta pueda intervenir en la toma de decisiones.

En un sentido similar, Gumucio y Zuñiga (2021) apuntan que la EIA es un instrumento cuyo proposito se encamina a predecir los posibles resultados que se generaran debido a la ejecución de acciones, buscando tener en cuenta las mejor opción para evitar el deterioro del entorno donde se llevará a cabo la acción. Lo que se busca es poder anticipar los posibles daños al entorno, de

manera que se tomen los mejores decisiones de mitigación, debido a que un contexto es intervenido, es imposible evitar que se produzcan daños, pero con al aplicación de la EIA, lo que se prentende es que dichos daños sean los menores posibles.

Estas evaluaciones deben ser realizadas por organismos competentes, por lo que la EIA puede entenderse como un procedimiento técnico, pero también administrativo, que debe reaizarse antes de llevar a cabo un proyecto, en busca de reconocer y anticipar los posibles efectos sobre el medio ambiente. Una vez hecha la evaluación, se tendrán los elementos de juicio necesario para que los organismo del Estado decidan si se lleva a cabo no el proyecto (Toala et al., 2020). Esta visión es netamente administrativa, lo que no significa que los ejecutores del proyecto no deban estar evaluando constantemente el nivel de impacto, a fin de hacer los correctivos pertinente.

2.2.2.2. Metodologías de Evaluación de Impacto Ambiental. Al momento de realizar un EIA se pueden utilizar diferentes metodologías, acotando que dichas metodologías son diversas, siendo algunas generales y otras específicas. No obstante, de todas ellas se pueden extraer herramientas que pueden ser útiles para la evaluación. La mayoría de estas metodologías han sido creadas para POA en específico, lo que hace difícil su uso global (Cipponeri, 2024). Sin embargo, las mismas pueden ser adaptadas para cada caso, por lo que revisten gran utilidad. En este sentido, a continuación, se describen algunas de dichas metodologías.

En primer lugar, se hará referencia al Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE), que es una metodología que surgió en los años 40 del siglo pasado, y se sustenta en la definición de los fallos funcionales en cada uno de los componentes, así como el establecimiento de las causas de los fallos, indicando aquellos componentes

“Definir para cada fallo funcional los modos de fallo relevantes de los componentes, establecer las causas de fallos para los modos de fallos, indicar los componentes que deberán ser sometidos al diagrama de decisión y la lista de mantenimiento correctivo” (Maure, 2023, p. 120).

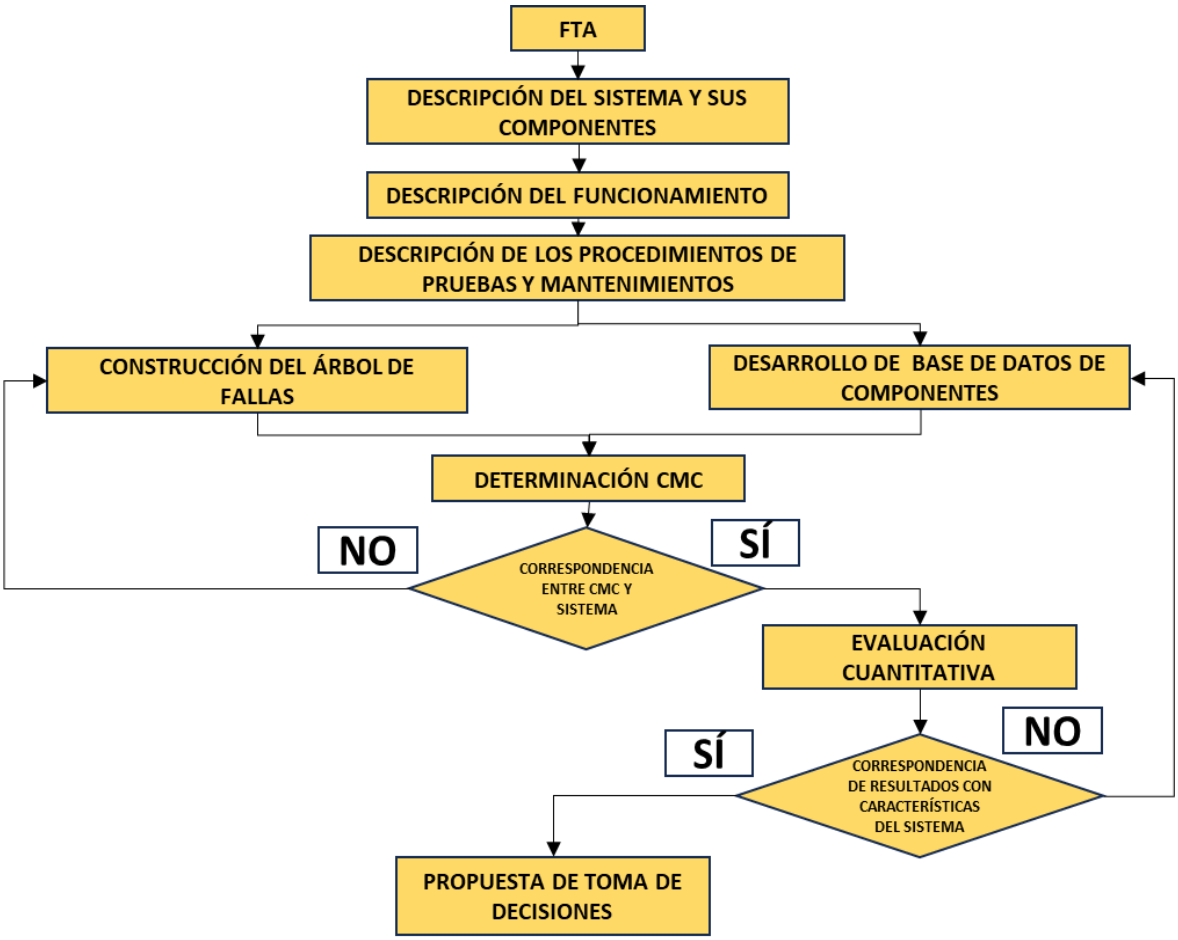
La principal fortaleza de este modelo es que permite reconocer los puntos debiles, de manera que puedan ser intervenidos. En el caso que atañe a la presente investigación, es preciso decir que la metodolgia permite determinar cuales son los puntos donde se genera mayores de niveles de contaminación y su posterior vertimeinto al río, dicha identificación facilita interver esos puntos especificos y de esa manera controlar los efectos.

Una segunda forma de evaluar la EIA son las denominados listas de chequeo, que si bien es una técnica sencilla es efectiva. Una lista de chequeo consta de una serie de ítems que conforman grupos categorizados y la pretensión es determinar si se cumplen o no. Una de sus falencias es que normalmente quien las aplica conocen los reactivos y por ello los responden de forma rutinaria. Sin embargo, si estas se aplican de forma correcta son una herramienta efectiva que pueden contribuir a la localización de los posibles fallos existentes dentro de un sistema (Salamanca, 2019). Las listas de chequeo son una herramienta de uso corriente, debido a su facilidad de aplicación, pues es un instrumento versartil facil de aplicar, lo que hace de él un forma confrontar hechos.

Una tercera metodología es el Análisis del Árbol de Fallas, FTA por sus siglas en inglés, que es un modelo deductivo, que hace uso de graficos e información cualitativa, que tiene como punto de partida algun hecho en específico en cual se ha producido una falla. De igual manera, unido a un suceso particular se encuentran otros intermedios que se conectan, y que, por lo tanto, deben ser tenidos en cuenta. Su potencia y nivel de preferencia se debe a que proporciona datos cualitativos y cuantitativos, facilitando de esta manera la toma de decisiones (Maure, 2023). Para una mejor comprensión de la metodología, esta se muestra en la figura 2.

Figura 2

Metodología Análisis Árbol de Fallas



Nota. Fuente: Tomado de Maure (2023)

En cuanto al Análisis Funcional de Operatividad (AFO) parte de la premisa que los riesgos tienen como consecuencia una desviación de los valores de las variables de una serie de parametros que se consideran normales, o más aceptables lo que afecta de manera directa los resultados esperados de un proceso (Váldez y Galvez, 2024). Para el caso presente estudio, existen unos niveles que se consideran seguros cuando se vierte agua de un producción pisicola a la vertiente, que en el caso de ser superados constituyen un problema, y, por lo tanto, se debe intervenir.

2.2.3 Calidad del agua

Cuidar la calidad del agua es un aspecto relevante en la sociedad moderna. En este sentido, puede decirse que son diversos los factores que pueden incidir en su deterioro. Entre dichas causas se pueden mencionar el vertimiento de aguas negras a los caudales de los ríos, situación que tiene como origen el crecimiento de las ciudades. De igual manera, la industria es una importante determinadora de la baja calidad de agua. En este sentido, en se hace necesario entender que es la calidad del agua y como esta puede determinarse.

En este sentido, Fernández-Rodríguez et al. (2021) expresan que el agua es un elemento natural fundamental para el desarrollo de las vida y de todas aquellas actividades llevadas a cabo por la especie humana. Además, agregan que valorar la calidad del agua hace referencia a la valoraciones de naturaleza física, química y biológica, para compararlas con las condiciones naturales, y de esa forma poder determinar cual es incidencia del hombre sobre las misma.

Visto de esta manera, cuando se quiere reconocer cual es la calidad del agua es importante hacer una serie de mediciones de parámetros entre lo que se pueden mencionar: oxigeno disuelto, temperatura, solidos suspendidos en el agua, pH, amoniaco y compuestos nitrogenados, y que serán tenidos en cuenta en el presente estudio. Las mediciones realizadas deberán compararse con una serie de estándares establecidos. Esto hace que la determinación de la calidad del agua tiene un carácter eminente técnico y es un proceso que debe llevarse a cabo en distintos momentos del día y de forma continua en el tiempo, especialmente cuando se trata de aguas provenientes de explotaciones industriales como el caso del cultivo de trucha.

2.3. Marco Conceptual

2.3.1 Acuicultura

2.3.1.1. Definición. La acuicultura es una actividad humana cuyo propósito es la producción de especies animales y vegetales en medios acuáticos, con la finalidad de hacer una mejora del rendimiento (Gutiérrez, 2020). Esta labor puede realizar tareas como: concentrar poblaciones de peces, alimentarlos o protegerlos de los depredadores. La actividad varía mucho según el lugar donde se lleve a cabo, ya que se puede establecer tanto en zonas costeras como del interior. Asimismo, gracias a esta intervención se ha visto mejorada la eficiencia de las especies al desarrollar alimentos balanceados altamente asimilables (Berger, 2020).

De otro lado, es necesario diferenciar lo que es la pesca y la acuicultura ya que, en esta última, los organismos producidos hacen parte de una inversión privada. “La acuicultura no es un complemento de la pesca, sino su evolución natural, como la ganadería en su momento reemplazó a la caza como forma de sustento” (APROMAR, 2022, p. 6).

2.3.1.2. Acuicultura sostenible. El objetivo del desarrollo sostenible va enfocado en el uso racional de los diferentes recursos naturales con los que se cuenta, procurando su conservación y teniendo en cuenta un enfoque económico, social y medioambiental (APROMAR, 2022). Para ello, basado en diferentes estudios hechos a nivel mundial y con la opinión de grupos especializados, se han desarrollado estrategias productivas. Entre ellas se encuentran la realización de una acuicultura de menor escala, que permita evaluar las especies empleadas y los métodos de crianza, junto a la creación de núcleos productivos que contribuyan al autosostenimiento y la formalización (Berger, 2020).

De igual manera, se ha hecho énfasis en el uso de especies nativas para su explotación, considerando las implicaciones ambientales de la introducción de especies no endémicas y ligado a esto de enfermedades. Asimismo, se ha implementado la acuicultura de productores primarios

como las algas (macroscópicas o microscópicas), ya que estos no requieren de tierra o aguas para el regado y ofrecen algunos beneficios ambientales como retención de CO_2 o disminución de acidez en el agua, sin dejar de mencionar su utilización para la obtención de subproductos (alginatos y agar). Para el caso del desarrollo de la acuicultura de consumidores primarios, estos últimos contribuyen al procesamiento de los alimentos no consumidos y los desechos de especies alimentadas, reducen la carga orgánica y alejan los riesgos asociados en el medio (Berger, 2020).

En cuanto a la acuicultura intensiva, la misma cuenta con tecnologías, métodos y equipos en constante innovación. De igual manera, la acuicultura marina o maricultura es presentada como una alternativa para explotaciones con disponibilidad de áreas para su uso, sin presentar conflictos con otras actividades. Por último, se encuentra la acuicultura integrada y policultivos como una forma de aprovechamiento de los insumos disponibles de otras producciones pecuarias con la actividad (Berger, 2020).

2.3.1.3. Acuicultura Intensiva. La acuicultura, como se ha mencionado en apartados anteriores, dirige su actuar a la producción y reproducción de recursos vivos como peces, mariscos y moluscos, en sitios de cuidados específicos, dentro de los cuales se han desarrollado algunas formas de cultivo, entre ellas la acuicultura intensiva.

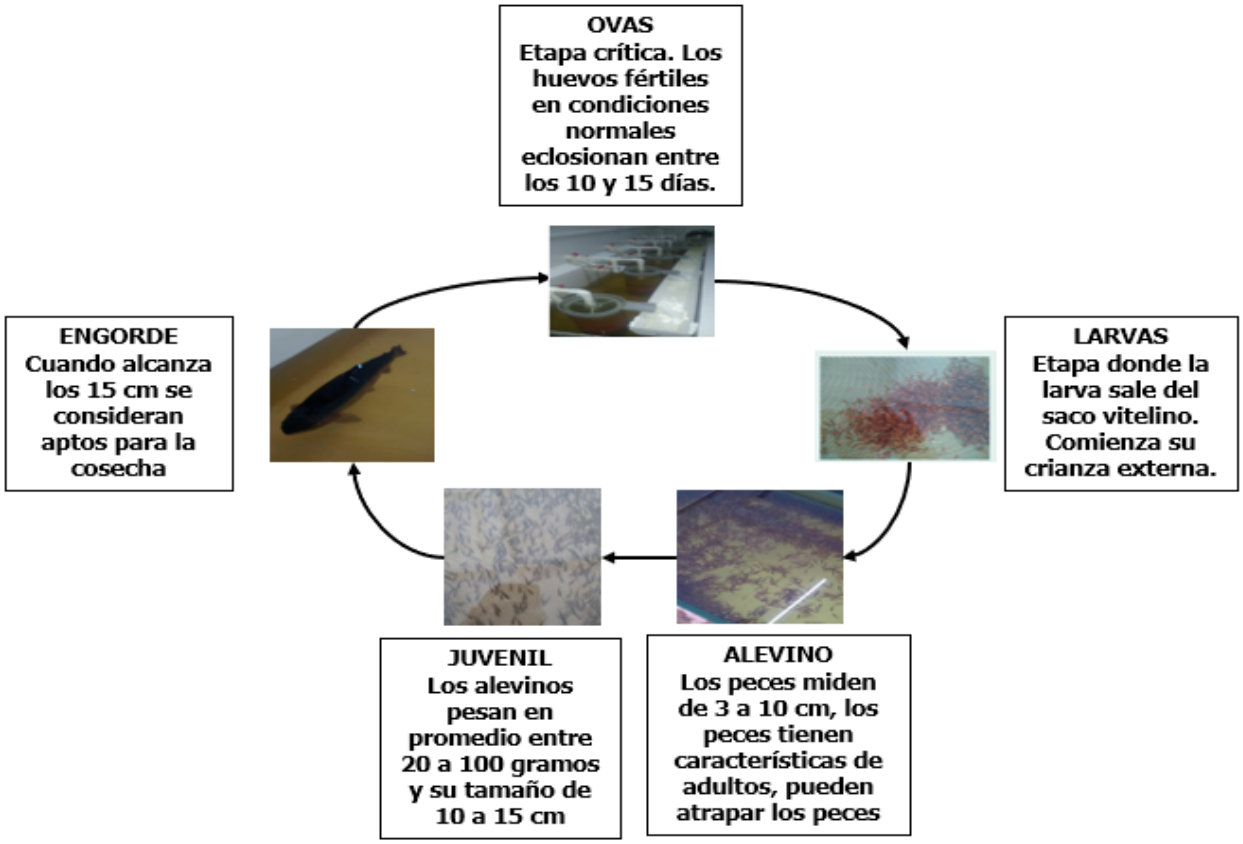
En este sentido, Berger (2020) afirma que este método de cultivo tiene como objetivo dar los máximos rendimientos en espacios limitados, por lo que se hace necesario que se den grandes concentraciones en la población, por lo que se hace necesario el uso de tecnología y el cuidado de los ambientes donde se lleva a cabo.

2.3.1.4. La Trucha. Las truchas son peces que hacen parte de la familia de los salmónidos (*Salmonidae)* y pertenecen a los géneros *Salmo* que incluye las especies del Atlántico, *Oncorhynchus* que incluye las especies del Pacífico y *Salvelinus*. Por lo general, habitan en aguas dulces frías y limpias. Algunas especies pasan su vida adulta en ambientes marinos y vuelven al río donde nacieron para la reproducción (Bioenciclopedia, 2015).

2.3.1.5. Ciclo de vida de la Trucha. Un aspecto importante es conocer cuál es el ciclo de vida de la Trucha, debido a que en cada una de las etapas de vida se requieren distintas condiciones en el agua del cultivo. En este orden de ideas, en la figura 3 se muestra el ciclo de vida de la Trucha.

Figura 3

Ciclo de vida de la Trucha



Nota. Fuente: Adaptado de Piamba et al. (2020)

2.3.1.6. La Trucha Arcoíris. La trucha arcoíris, cuyo nombre científico es *Oncorhynchus mykiss*, es un pez originario del noroccidente americano y el noreste asiático que ha sido introducido en todo el mundo para el desarrollo de la acuicultura y la pesca deportiva (de la Oliva, 2011; National Geographic, 2010).

Esta especie habita espacios acuáticos, los cuales se caracterizan por tener desniveles, creando así rápidos, saltos y cascadas de fuentes de aguas no contaminadas y cristalinas, comunes en ríos situados en las partes altas de las cordilleras, siendo capaces de adaptarse en regiones de altura (Maiz et al., 2010). De la misma forma hay que mencionar que la trucha es un pez depredador muy territorial, que a medida que va creciendo va desplazando o erradicando a la fauna nativa (de la Oliva, 2011). La trucha arcoíris se encuentra en el Listado oficial de especies invasoras para Colombia, consignadas en las resoluciones 848 de 2008 y 207 de 2010.

2.3.2 Parámetros generales para el cultivo de trucha

La trucha es una especie que requiere de unas condiciones específicas para su cultivo. En cada una de sus distintas etapas de vida requiere unas condiciones de entorno especiales. En este sentido, el agua donde se crían requiere una serie de condiciones que deben ser tomadas en consideración y que se describen a continuación.

2.3.2.1. Oxígeno disuelto. Unas de los parámetros más exigentes para el cultivo de truchas es el relacionado con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. En este orden de ideas, la cantidad mínima debe estar entre 4 y 5.5 mg/l. Sin embargo, este nivel de exigencia es superior en la etapa de huevos, donde la cantidad necesaria es de 6 a 7 mg/l. Estas tasas son estrictas, ya que con cantidades inferiores los animales tienen problemas para extraer el oxígeno del agua (Soto, 2024).

Ahora bien, existen factores que ayudan a determinar la cantidad de oxígeno en el agua, siendo la temperatura uno de ellos, por lo que se requieren cuidados especiales especialmente en la época de verano. Sin embargo, existen métodos para aumentar la cantidad de oxígeno como,

por ejemplo, las bombas de aire o inyección de oxígeno mediante nano burbujas por un equipo llamado difusor en forma de pulpo (Soto, 2024).

2.3.2.2. Temperatura. Una de las características de los peces es su incapacidad para regular la temperatura corporal, por lo que las condiciones de temperatura del agua es un aspecto central. Este factor influye directamente en los procesos de reproducción, los niveles de crecimiento de los peces jóvenes y adultos, ya que es un determinante de la actividad metabólica. De igual manera, la temperatura es una agente a tomar en consideración en la regulación de la cantidad de oxígeno en el agua (Soto, 2024).

Respecto a los rangos de temperatura para el cultivo de trucha estos pueden variar entre los 0 y 25 grados centígrados, esto en condiciones naturales. Sin embargo, cuando se trata de cultivos, las temperaturas deben oscilar entre los 8 y 14 grados centígrados en la etapa de crecimiento, mientras que para los alevines el ideal es entre los 10 y 12 grados centígrados.

2.3.2.3. Sólidos suspendidos en el agua. Una de las mayores dificultades que se presentan en el cultivo de la trucha es la cantidad de sólidos suspendidos en el agua. En este sentido, Agrotendencia (2019) establece que se requiere que este parámetro sea bajo, ya que las truchas prefieren aguas cristalinas y puras, debido a que la concentración de sólidos afecta los niveles de crecimiento.

Pero, ¿qué son los sólidos suspendidos en el agua? Este concepto hace relación a la cantidad de masa presente en una columna de agua. Además, este tipo de partículas se dispersan, absorben luz y el agua se enturbia. De igual manera, la cantidad de sólidos en el agua son uno de los parámetros importantes para determinar la calidad de agua. Ahora bien, haciendo alusión al cultivo de peces, la turbidez afecta la visión de los animales, lo que lleva a bajas tasas de alimentación (López, 2020).

2.3.2.4. El pH. El pH es una medida que permite especificar el grado de acidez o basicidad de una solución en agua. Este concepto tiene importantes aplicaciones en distintos campos del conocimiento, siendo el cultivo de truchas uno de ellos (Pineda et al., 2021). De otro lado, el pH óptimo para la cría de trucha debe oscilar entre 6,5 y 9. En caso que se den valores menores al rango mínimo o mayores al rango máximo los niveles de producción disminuyen (Soto, 2024).

2.3.2.5. Amoniaco y compuestos nitrogenados. Uno de los subproductos derivados del cultivo de la trucha es el amoníaco y los compuestos nitrogenados. En este sentido, es preciso decir que las variables físico químicas son un importante indicador de la calidad del agua, y que estas pueden ser alteradas debido a los subproductos resultado de los insumos empleados en la producción. En este sentido, una sobrecarga de compuestos nitrogenados pueden ser un inhibidor de la fijación de nitrógeno, lo que lleva a un cambio estructural en la densidad y en la biomasa, que pueden redundar en problemas ambientales, tales como la acidificación del agua, es decir, un cambio en pH, así como la eutrofización (Burbano et al., 2021), es decir, el “enriquecimiento excesivo de la concentración de nutrientes en las aguas” (Real Decreto 47, 18 de enero de 2022).

En este orden de ideas, es preciso decir que la eutrofización tiene como consecuencia directa la proliferación sin control de organismo causantes del desequilibrio medio ambiental, como resultado de esta situación la luz no llega a niveles inferiores. De igual forma, se da un descenso en la cantidad de oxígeno disuelto, por lo que el medio se vuelve anóxico con la subsecuente inhibición de condiciones para que se dé la vida. Asimismo, se pierde la calidad del agua y se da la aparición de toxinas resultado la presencia de algas (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográficos, s.f.). En ese sentido, las concentraciones seguras de amoníaco para el cultivo de trucha arco iris es de 0,32 y 0,93 miligramos por litro para las especies de agua fría.

2.3.2.6. Conductividad eléctrica. Este parámetro hace referencia a la capacidad del agua de transportar corriente eléctrica, siendo su unidad de medida el micro Siemens por centímetro, cuando la temperatura es de 25 grados centígrados. Esta medida es importante debido a que permite comprender qué tan saturada de sales está un medio acuoso, debido a que el agua desmineralizada no conduce electricidad. Asimismo, es preciso decir que la conductividad tiene relación directa con la temperatura, ya que la capacidad de solubilidad del agua depende de la temperatura (Solís et al., 2018).

3. Marco Empírico

3.1 Hipótesis

La evaluación del impacto ambiental en el agua generado por la producción de Trucha Arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) en la explotación piscícola Trucha La isla del municipio de Cácota - Norte de Santander, Colombia, tiene un impacto negativo en los niveles de contaminación del agua del río Cácota, en sus diferentes etapas de aprovechamiento.

3.2 Objetivo general

Evaluar el impacto en la calidad del agua del río Cácota - Norte de Santander, Colombia - generado por la estación piscícola de trucha La isla.

3.3 Objetivos específicos

Medir los parámetros físico-químicos del agua utilizada por la estación piscícola, suministrando balanceado comercial en el sistema de producción.

Analizar la evaluación del impacto ambiental por consecuencia de la explotación mediante instrumentos de evaluación.

Generar una serie de recomendaciones para mejorar los parámetros de contaminación del agua.

3.4. Metodología

3.4.1. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación fue el cuantitativo, cuya característica principal es predecir a partir de la interpretación de los hechos observables, que pueden ser medidos de forma directa y expresados como valores numéricos, razón por la cual a los datos se les da un tratamiento estadístico (Faneite, 2023). En este sentido, el enfoque fue pertinente, ya que se debieron

recolectar datos numéricos medidos en el propio campo, buscando determinar las condiciones físico químicas del agua empleada en la explotación piscícola.

3.4.2. Diseño y tipo de investigación

En cuanto al diseño de la investigación este fue el descriptivo. Su objetivo consiste “en trabajar las distintas variables a la vez, pero sin relacionar analíticamente entre ellas” (Calle, 2023, p. 1876). Este diseño fue pertinente debido a que se estudiaron varias variables, pero sin buscar una causa efecto entre ellas.

De otro lado, el tipo de investigación fue la de campo, que recolecta los datos directamente en el lugar y en el momento en que ocurren los sucesos materia de estudio, lo que es pertinente, ya que se hicieron mediciones directamente en el campo, en este caso en las piletas dedicadas al cultivo de la trucha (Grajales, 2000).

3.4.3. Población y muestra

La población hace referencia al universo de estudio, en este caso, lo que se pretendió medir fueron los parámetros físico químicos del agua de los estanques de cultivo. En tal sentido, no se puede precisar el volumen total de agua. Asimismo, al hacer referencia a la muestra, se tomaron pequeñas volúmenes de agua en tres puntos específicos, en la entrada de agua a los estanques, en la salida de los estanques y en el punto de retorno al caudal del río, siendo estos los criterios de inclusión debido a que esto permite entender cuál es la calidad del agua en el punto donde ingresa, en el punto donde se estanca y en la salida, para determinar cual es el nivel de contaminación cuando sale, por lo que se consideran puntos críticos.

En este sentido, en el país hay 42 ríos que constituyen la población. Entre tanto, la muestra está conformada por el río Cacota, cuya escogencia se hizo por conveniencia, que es una técnica de muestreo no probabilística donde la elección se hace teniendo en cuenta factores que favorece al investigador, esto se elige de forma arbitraria quienes participaran en el estudio, lo que fue

pertinente para la investigación debido a que este cauce fluvial es que suministra el agua a la estación piscícola estudiada (Hernández, 2021).

3.4.4. Instrumentos de evaluación

Para entender hasta qué punto el cultivo de truchas está afectando los niveles de contaminación del río, se hizo una comparación entre los valores obtenidos experimentalmente y lo valores establecidos por las normas colombianas respecto a los valores aceptables, de parámetros como el Ph, la temperatura, la conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, nitritos, nitrógeno amoniacal, oxígeno disuelto y sólidos suspendidos totales.

Cada uno de estos parámetros se midieron haciendo uso de distintos métodos, de los nitritos y el nitrógeno amoniacal se realizó mediante la colorimetría, que hace referencia a una técnica que se utiliza en la detección de sustancias mediante la absorción de luz (Mahecha, 2023). De otro lado, para la medición del oxígeno disuelto en el agua, se utilizó el método de Winkler, que usa procedimientos de aislamiento y acidificación para determinar qué cantidad de oxígeno hay disuelto en el agua (Rondón, 2020). En cuanto a la cantidad de solidos suspendidos totales se acudió al método SM 2540 D.

Los demás parámetros se midieron in situ, haciendo uso de los instrumentos phmetro para los sólidos disueltos totales; para la temperatura el termómetro y la para la conductividad un medidor de conductividad eléctrica y de sólidos. Ahora bien, para el objetivo dos, se hizo una comparación acudiendo a la prueba de los rangos con signos de Wilcoxon, cuyo propósito es determinar si dos mediciones estadísticas se pueden considerar similares o si presentan diferencias significativas (Tapia y Cevallos, 2024).

3.4.5. Resultados y discusión

3.4.5.1. Medición de los parámetros físico-químicos del agua utilizada por la estación piscícola. Para el desarrollo de este estudio se realizaron tomas de muestras simples en diferentes puntos de la estación piscícola Truchas La Isla a diferentes horas. Los horarios que se tuvieron en cuenta fueron las 7 a.m. y las 12 pm.

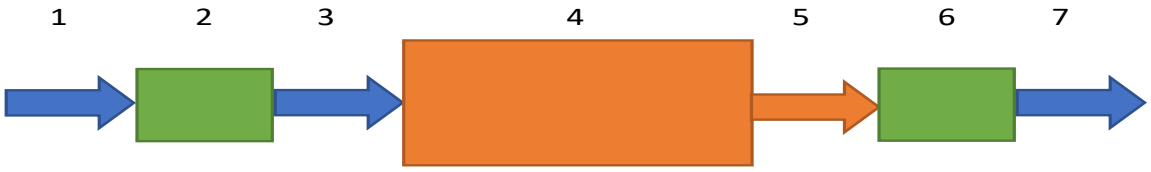
Se decidieron estas horas teniendo en cuenta el ciclo de alimentación que se lleva a cabo en la estación, ya que en el horario de 7 a.m. los animales se encuentran en una fase de menor actividad metabólica debido a que están en reposo y sin alimentación desde el día anterior. Siguiendo con esta idea, el horario de 12 pm. los animales ya se encuentran en actividad porque su ración ha sido administrada y también se piensa que es el momento en el que pueden causar una variación en los parámetros fisicoquímicos normales que vienen desde el río sin su uso

Ahora, para contrastar información, no solo se tuvo en cuenta sus horarios de actividades metabólicas, sino que también se hicieron mediciones en diferentes puntos del aprovechamiento del agua. Para esta actividad se hicieron mediciones en tres diferentes localizaciones de la estación.

El primero fue a la entrada del agua a la estación, el cual sería la muestra patrón el cual arrojaría las lecturas del río sin ser aprovechado. El segundo punto que se eligió fue después del uso del agua por parte de la estación. Es de aclarar que, previo a su uso, esta agua pasa por un proceso de sedimentación por gravedad, con el fin de que las truchas tengan una mejor calidad de esta. El tercer punto que se midió fue luego del aprovechamiento y posterior paso por un tanque de oxidación el cual al final va a parar nuevamente a este río. En la figura 4 se muestra un diagrama que establece los puntos de toma de las citadas muestras.

Figura 4

Puntos de toma de muestras



Nota. Puntos de localización: 1 agua que entra del río (toma de primera muestra), 2 tanque de sedimentación, 3 agua sedimentada, 4 estación piscícola, 5 efluentes luego del aprovechamiento (toma de segunda muestra), 6 tanque de oxidación y 7 agua que vuelve al río (toma de tercera muestra). Fuente: Elaboración propia.

De otro lado, en la tabla 1 se muestran los resultados de la toma de muestras, en cada uno de los puntos elegidos y en las horas establecidas.

Tabla 1

Valores obtenidos de forma empírica

Variable	Dia 1 (13-09-2024)						Dia 2 (20-09-2024)					
	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.
Ph	7.5	7.7	7.3	7.1	7.1	7.1	8.0	7.5	7.1	7.0	6.9	7.0
Temperatura	12.8 °C	12.6 °C	12.6 °C	13.6 °C	13.6 °C	13.6 °C	12.4 °C	16 °C	12.6 °C	14°C	12.6°C	15°C
Conductividad eléctrica	78 µs/cm	80 µs/cm	78 µs/cm	82 µs/cm	84 µs/cm	98 µs/cm	90 µs/cm	86 µs/cm	82 µs/cm	90 µs/cm	86 µs/cm	92 µs/cm
STD	38 ppm	39 ppm	40 ppm	41 ppm	42 ppm	49 ppm	44 ppm	44 ppm	42 ppm	43 ppm	42 ppm	42 ppm
Nitritos	0,08 mg/L N-NO2	0,6 mg/L N-NO2	0,08 mg/L N-NO2	0,09 mg/L N-NO2	0,08 mg/L N-NO2	0,05 mg/L N-NO2	0.007 mg/L N-NO2	0.004 mg/L N-NO2	0.007 mg/L N-NO2	0.005 mg/L N-NO2	0.006 mg/L N-NO2	0.006 mg/L N-NO2
Nitrógeno amoniacal	0,63 mg/L	0,47 mg/L	0,66 mg/L	0,72 mg/L	0,80 mg/L	0,78 mg/L	0.37 mg/L	0.34 mg/L	0.54 mg/L	0.51 mg/L	0.50 mg/L	0.44 mg/L

	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4	N-NH+4
O_2 disuelto	8,0 mg/L	7,4 mg/L	8,4 mg/L	6,8 mg/L	7,0 mg/L	7,2 mg/L	8.0 mg/L	8.2 mg/L	7.4 mg/L	7.8 mg/L	7.0 mg/L	7.4 mg/L
SST	6,4 mg/L	7,2 mg/L	8,0 mg/L	8,4 mg/L	6,5 mg/L	7,0 mg/L	14.2 mg/L	18.4 mg/L	6.4 mg/L	6.6 mg/L	10.2 mg/L	10.2 mg/L

Nota. Las mediciones que se hicieron In-Situ fueron: pH, Temperatura, Conductividad eléctrica y Sólidos totales disueltos. La información obtenida de Sólidos suspendidos totales, Oxígeno disuelto, Nitritos y Nitrógeno amoniacal fue gracias a trabajo de laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

El Ph es un factor que muestra el nivel de alcalinidad o acidez del agua. En este sentido, se puede observar que los dos días estudiados se dan pequeñas variaciones, sin que estas sean significativas, tal como se puede corroborar aplicando la prueba no paramétrica de Wilcoxon, que arrojó como p-valor teórico 0,339 si este valor se compara con el teórico que se estableció en 0,05, ya que los parámetros fueron 95% de confianza y 5% de error. La prueba de comparación de medias se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Prueba de Wilcoxon para comparar medias de Ph por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre el Ph1 y el Ph2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,339	Conserve la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

De igual manera, el promedio para el día uno fue de 7,3 y para el día dos de 7,25, por lo que se puede deducir que el Ph es un tanto alcalina, lo que lleva concluir que existe buena calidad de agua.

El segundo aspecto analizado fue la temperatura, acotando que esta medida depende de factores externos, es decir, en el no incide el tamaño del cultivo. En este sentido, se encontró que el promedio de temperatura para el primer día fue 13,1ºC y en el segundo 13,7ºC, pudiéndose concluir que la temperatura está en rango aceptable para el desove y el crecimiento. De igual manera, se hizo una comparación entre las medias de las temperaturas medias de los dos días estudiados, pudiéndose concluir que no hay diferencias significativas, como lo muestra la prueba de Wilcoxon que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Prueba de Wilcoxon para comparar medias de temperatura por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre la temp1 y la temp2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,416	Conserve la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

La tercera medida hace referencia a la conductividad eléctrica, cuyo promedio en el día uno fue de 83,3 µs/cm y en el segundo 87,6 µs/cm. Este parámetro se debe a varios factores, uno de ellos es la temperatura, su aumento implica un incremento de la conductividad, situación que es coherente en los resultados. Otro aspecto es la cantidad de sales disueltas. Asimismo, se compararon las medias de conductividad en los dos días estudiados. Se encontró que estadísticamente se puede considerar similares, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Prueba de Wilcoxon para comparar medias de conductividad eléctrica por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre el condu1 y el condu2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,141	Conserve la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

La siguiente prueba tiene que ver con los Sólidos Totales Disueltos -STD- donde el promedio para el primer día fue de 41,5 ppm y el segundo 42,8 ppm. En cuanto si hay o no diferencias estadísticamente significativas en los promedios de los dos días estudiados, se pudo concluir que no la hay, como queda demostrado con la prueba no paramétrica de Wilcoxon, que se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Prueba de Wilcoxon para comparar medias Sólidos Totales Disueltos por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre STD1 y STD2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,498	Conserve la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

En cuanto a la cantidad de nitritos las medias fueron 0,16333 mg/L N-NO2 y 0,00583 mg/L N-NO2, para el segundo, pudiéndose apreciar una reducción para la segunda toma de muestras. Este es un agente altamente contaminante. En este sentido, y de acuerdo a la prueba de contraste de medias, se puede concluir que se dieron diferencias estadísticamente significativas, siendo mayor el primer día, como ya se dijo. La prueba se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Prueba de Wilcoxon para comparar medias nitritos por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre Nitritos1 y Nitritos2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,27	Rechace la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

En cuanto a la cantidad de nitrógeno amoniacal para el primer día fue de 0,6767 N-NH+4 y para el segundo de 0,4500 N-NH+4. El contraste de medias muestra significatividad en las

diferencias de las medias, lo que coincide con la medición de nitritos. Los resultados del contraste de medias se presentan en la tabla 7.

Tabla 7

Prueba de Wilcoxon para comparar medias nitrógeno amoniacal por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre Nitrogeno1 y Nitrogeno2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,28	Rechace la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

La cantidad de oxígeno disuelto en el agua es uno de los parámetros que permiten entender cuál es la calidad del agua. En este sentido, las mediciones muestran algunas variaciones, siendo el promedio para el primer día 7,4667 mg/L, mientras que para el segundo 7,6333 mg/L. Las pruebas estadísticas muestran que no existen diferencias significativas entre las dos medias mostradas, tal como se puede corroborar en la tabla 8.

Tabla 8

Prueba de Wilcoxon para comparar medias O_2 disuelto por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre oxigeno1 y oxigeno2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,581	Conserve la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

Por último, se midieron los Sólidos Suspendidos Totales -SST- muestra un promedio de 7,25 mg/L para el día 1 y de 11,00 mg/L para el día 2. En este sentido, la prueba de Wilcoxon muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias, como se observa en la tabla 9.

Tabla 9

Prueba de Wilcoxon para comparar medias Sólidos Suspendidos Totales disuelto por día

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La mediana de las diferencias entre SST1 y SST2 es igual a cero	Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas	0,116	Conserve la hipótesis nula

Nota. Elaboración Propia

En general, se puede decir que la variación entre las medidas tomadas a distintas horas y en días diferentes se mantienen con pequeñas variaciones que estadísticamente no tienen significación, a excepción de los Nitritos y Nitrógeno amoniacal, que muestra una media mayor en el primer día, con diferencias estadísticas significativas.

3.4.5.2 Evaluación del impacto ambiental por consecuencia de la explotación mediante instrumentos de evaluación. Para entender el impacto ambiental del vertimiento de agua de la producción de trucha a la vertiente del río Cacota se hace una comparación entre los resultados encontrados en las mediciones con los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007. La primera comparación se realiza teniendo en cuenta el Ph. En este sentido, el valor de referencia para la calidad de agua para el consumo humano oscila entre 6,5 y 9. Como puede verse en la tabla 10, en ninguna de las mediciones en ninguno de los puntos es inferior a 6,5 y ni mayor a 9, lo que implica que para el Ph el líquido cumple con la norma.

Tabla 10

Comparación Ph medido Vs valor aceptado para calidad del agua

Variable	**Dia 1 (13-09-2024)**						**Dia 2 (20-09-2024)**						**Valor de referencia**
	Punto 1		**Punto 2**		**Punto 3**		**Punto 1**		**Punto 2**		**Punto 3**		
	7 a.m.	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	

Ph	7.5	7.7	7.3	7.1	7.1	7.1	8.0	7.5	7.1	7.0	6.9	7.0	6,5 - 9

Nota. Elaboración Propia

Un parámetro que pareciera de poca incidencia en la calidad de agua es el nivel de conductividad eléctrica, que de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, establece que son tolerables hasta 1000 µs/cm, pudiéndose ajustar de acuerdo a los promedios habituales y el mapa de riesgos de la zona. Un incremento de los valores habituales de la conductividad superior al 50% es indicio de un aumento inusual de cantidad de sólidos disueltos y por lo tanto es importante que se haga una investigación in situ (Resolución 2115, 2917, art. 3). Se evidencia que las medidas de este parámetro en el criadero de truchas están muy lejos del valor aceptado. Los valores obtenidos se muestran en la tabla 11.

Tabla 11

Valores de conductividad eléctrica obtenidas

Variable	**Dia 1 (13-09-2024)**						**Dia 2 (20-09-2024)**					
	Punto 1		**Punto 2**		**Punto 3**		**Punto 1**		**Punto 2**		**Punto 3**	
	7 a.m.	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**
Conductividad eléctrica	78 µs/cm	80 µs/cm	78 µs/cm	82 µs/cm	84 µs/cm	98 µs/cm	90 µs/cm	86 µs/cm	82 µs/cm	90 µs/cm	86 µs/cm	92 µs/cm

Nota. Elaboración Propia

Respecto a los sólidos totales disueltos, no existe un parámetro establecido en las normas colombianas, y se clasifica como un contaminante de segundo orden por la Agencia de Protección los Estados Unidos y estable como medida máxima en el agua potable de 500 mg/L, o lo que es lo mismo, 500 ppm, que si compara con los valores encontrados se encuentran muy

lejos de este valor de referencia tal como se puede observar en la tabla 12 (Sigler y Bauder, 2017).

Tabla 12

Valores de sólidos totales disueltos

Variable	Dia 1 (13-09-2024)						Dia 2 (20-09-2024)					
	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.
STD	38 ppm	39 ppm	40 ppm	41 ppm	42 ppm	49 ppm	44 ppm	44 ppm	42 ppm	43 ppm	42 ppm	42 ppm

Nota. Elaboración Propia

Respecto a la cantidad de nitritos admisibles, la Resolución 2115 de 2007 establece como valor admisible 0,1 mg/L, que si se compara con los resultados obtenidos en las mediciones en ninguna de ellas es superado, incluso si se compara estes valor con los promedios obtenidos en el día uno y el día dos, siendo 0,16333 y 0,00583, respectivamente, se puede observar que se sobrepasa en el primero de ellos, pero si se hace la revisión medición a medición el valor limite no es superado, como se observa en la tabla 13.

Tabla 13

Valores de nitritos

Variable	Dia 1 (13-09-2024)						Dia 2 (20-09-2024)					
	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.

Nitritos	0,08 mg/L N-NO2	0,6 mg/L N-NO2	0,08 mg/L N-NO2	0,09 mg/L N-NO2	0,08 mg/L N-NO2	0,05 mg/L N-NO2	0.007 mg/L N-NO2	0.004 mg/L N-NO2	0.007 mg/L N-NO2	0.005 mg/L N-NO2	0.006 mg/L N-NO2	0.006 mg/L N-NO2

Nota. Elaboración Propia

En cuanto los niveles de nitrógeno amoniacal en el agua, en Colombia no existen parámetros, sin embargo, de acuerdo con el Real Decreto 3 (2023) este no puede superar los 0,50 mg/L y el agua no es apta si este valor alcanza 1,00 mg/L. Si los valores presentados en la tabla 13 se comparan con el valor para que se apta para el consumo humano, solo en dos momentos del segundo día cumplen. Sin embargo, si dicha comparación se realiza con el valor máximo, es decir, 1,00 mg/L, se cumple en todos los momentos de medición.

Tabla 14

Valores de nitrógeno amoniacal

Variable	**Dia 1 (13-09-2024)**						**Dia 2 (20-09-2024)**					
	Punto 1		**Punto 2**		**Punto 3**		**Punto 1**		**Punto 2**		**Punto 3**	
	7 a.m.	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**	**7 a.m.**	**12 p.m.**
Nitrógeno amoniacal	0,63 mg/L N-NH+4	0,47 mg/L N-NH+4	0,66 mg/L N-NH+4	0,72 mg/L N-NH+4	0,80 mg/L N-NH+4	0,78 mg/L N-NH+4	0.37 mg/L N-NH+4	0.34 mg/L N-NH+4	0.54 mg/L N-NH+4	0.51 mg/L N-NH+4	0.50 mg/L N-NH+4	0.44 mg/L N-NH+4

Nota. Elaboración Propia

El oxígeno disuelto en el agua es factor importante para que se dé la vida en los ecosistemas acuáticos. En este sentido “los niveles de oxígeno disuelto típicamente pueden variar de 0 - 18

partes por millón (ppm) aunque la mayoría de los ríos y riachuelos requieren un mínimo de 5 - 6 ppm para soportar una diversidad de vida acuática" (Pena y Chang, 2007, p. 2). En este orden de ideas, al comparar los valores de referencia mininos y compararlos con los obtenidos y que se presentan en la tabla 15, se evidencia que la cantidad de oxígeno disuelto es óptima para mantener la biodiversidad del río.

Tabla 15

Valores de oxígeno disuelto

Variable	Dia 1 (13-09-2024)						Dia 2 (20-09-2024)					
	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.
O_2 disuelto	8,0 mg/L	7,4 mg/L	8,4 mg/L	6,8 mg/L	7,0 mg/L	7,2 mg/L	8.0 mg/L	8.2 mg/L	7.4 mg/L	7.8 mg/L	7.0 mg/L	7.4 mg/L

Nota. Un mg/L es igual un ppm. Fuente: Elaboración Propia

Los valores de sólidos suspendidos totales tienen como parámetros $25 < SST \leq 75$ (en mg/L), razón por la cual se puede decir que, de acuerdo con la medición realizada el agua del cultivo de truchas, cumple con los parámetros, ya que está muy por debajo de los valores límites, tal como se muestra en la tabla 16 (García-Rodríguez et al., 2021).

Tabla 16

Valores de sólidos suspendidos totales

Variable	Dia 1 (13-09-2024)						Dia 2 (20-09-2024)					
	Punto 1		Punto 2		Punto 3		Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.	7 a.m.	12 p.m.

SST	6,4 mg/L	7,2 mg/L	8,0 mg/L	8,4 mg/L	6,5 mg/L	7,0 mg/L	14.2 mg/L	18.4 mg/L	6.4 mg/L	6.6 mg/L	10.2 mg/L	10.2 mg/L

Nota. Elaboración Propia

3.4.5.3 Recomendaciones para mejorar los parámetros de contaminación del agua. De acuerdo con los resultados encontrados, se evidencia que la producción de trucha en la estación la Isla no tiene un fuerte impacto sobre la calidad del agua del río Cacota. Sin embargo, se hace necesario que se sigan manteniendo las condiciones en que se está llevando a cabo la producción de forma que no se presentes focos de contaminación que pueda alterar el equilibrio del ecosistema del río.

Ahora bien, cuando el agua entra a la estación sus parámetros se pueden considerar seguros, situación que se mantiene cuando esta vuelve a ser vertida a la fuente fluvial. Sin embargo, durante el tránsito por los estanques de cría se dan pequeñas variaciones en las condiciones físicas del agua debido al alto consumo de oxígeno de los animales. De igual forma, los residuos de la alimentación son igualmente un foco de contaminación. Ahora bien, el tanque de oxidación está cumpliendo con su cometido.

En este sentido, es preciso decir que se recomienda que se sigan tomando en consideración los procedimientos que están en uso, pero se requiere que se establezca un sistema de monitoreo constante, para que se lleven a cabo mediciones antes de entrar a la estación, ya que la calidad del agua es fundamental para la cría, Durante, puesto que se requiere mantener los parámetros seguros, y después, para garantizar que el agua se revierte al río tienen la calidad necesaria y no afectará a las especies que en ella habitan.

3.5 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos muestran que la realidad de la calidad del agua de la estación de cultivo es buena, tal como se pudo deducir de la comparación realizada entre los valores

obtenidos empíricamente y los parámetros aceptados en las normas colombianas, lo que es coherente con lo encontrado por Machaca et al. (2023), quienes encontraron que el impacto negativo del cultivo de trucha sobre las fuentes de agua empleadas es leve.

Asimismo, existe concordancia entre el nivel de contaminación producido por la truchicultura de la estación la Isla, es similar a los resultados del estudio llevado cabo por Orna (20204) que muestran que esta actividad no afecta la calidad del agua. Asimismo, Herbozo (2024) pudo concluir que los indicadores fisicoquímicos del agua usada en el cultivo de truchas no representan un riesgo para el equilibrio del ecosistema.

Ahora bien, si se busca establecer una comparación de los efectos del cultivo teniendo en cuenta los antecedentes nacionales, se puede decir que los niveles de contaminación encontrados en el agua proveniente del cultivo de trucha la Isla no presenta riesgos para la fuente fluvial, situación que coincide con los hallazgos de González et al. (2022), para quienes los niveles encontrados son aceptables, de acuerdo con los estándares establecidos.

En este sentido, se puede decir que la calidad del agua que llega a la estación es buena, estos parámetros desmejoran levemente durante su permanencia en los tanques de crianza, pero luego de pasar por el tanque de oxidación, cuando son devueltos al río, conservan la calidad, de acuerdo a los datos encontrados durante el proceso de medición.

Para comprender mejor lo dicho, es preciso citar por el ejemplo el Ph, que para el día 1 ingresa con un valor de 7,5 y en la salida dicho valor es 7,1. Situación similar se da en el día dos, donde se ingresa con un Ph de 8 y se sale con un Ph de 7. En la conductividad eléctrica esta se eleva entre el punto de entrada y salida para las dos jornadas estudiadas. En la primera se ingresa con 78 µs/cm y sale con 98 µs/cm, lo que puede explicarse por el aumento de la temperatura que pasa de 12.8 °C a 13.6°C. En la segunda jornada sucede algo similar, se entra con 90 µs/cm y se sale con 92 µs/cm, dándose igualmente un aumento en la temperatura, que pasa de 12.4°C a 15°C.

Otro factor que puede explicar el aumento en los niveles de conductividad es la cantidad de Solidos Disueltos Totales, que en el primer día pasan de 38 ppm a 49 ppm. Sin embargo, en el día dos estos disminuyen yendo de 44 ppm a 42 ppm, siendo el aumento de los niveles de conductividad menores. Respecto a los niveles de nitritos, en los dos días disminuyen, situación que no ocurre con el nitrógeno amoniacal, que aumenta su concentración.

Respecto a los niveles de oxígeno disuelto, se percibe una disminución en los dos casos, situación que puede considerarse normal, pero es importante resaltar que, a pesar de ello, dichos niveles siguen siendo aceptables. Por último, los Sólidos Suspendidos Totales, en el primer día crecen levemente, mientras en el segundo disminuyen.

Desde esta perspectiva se puede decir que la hipótesis planteada es falsa, es decir, la producción de trucha en la estación la Isla no tiene un impacto negativo sobre el agua del río Cacota, es decir, la explotación no produce efectos significativos sobre el cauce fluvial

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

La medición de los parámetros físico químicos del agua de la estación productora de Trucha permitieron observar pequeñas variaciones entre las mediciones dependiendo de la hora y sitio donde se tomen. En este sentido, desde el punto de vista estadístico los valores encontrados se pueden considerar similares. Lo dicho tiene implicaciones importantes ya que permite entender que las características de la calidad del agua son estables, razón por la cual es más sencillo hacer un seguimiento y control.

Cuando se hace una comparación en los promedios de las mediciones de cada uno de los parámetros los resultados arrojan que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los promedios, a excepción de los relativos a los nitritos y al nitrógeno amoniacal, donde la concentración promedio del primer día supera al del segundo. En este sentido, se puede decir que la calidad del agua dentro del proceso de cultivo si tienen variaciones, pero estas son relativamente pequeñas y no afectan las condiciones del rio.

Ahora bien, al hacer una comparación entre los niveles aceptables en cada una de los parámetros medidos, Ph, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, nitritos, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos totales, se puede decir que ninguno de ellos se encuentra por encima de los valores aceptables para la calidad del agua, lo que implica que los niveles de contaminación que está generando el cultivo de truchas no está afectando la calidad de agua del río. De otro lado, el oxígeno disuelto cumple con las especificaciones para garantizar la preservación de la vida del ecosistema acuático.

Desde esta perspectiva es posible concluir que el agua empleada en este emprendimiento no está afectando las condiciones de la calidad de agua del río Cacota. Asimismo, es preciso decir

que, de acuerdo con las muestras tomadas, el agua está llegando a la estación en buenas condiciones, se elevan un poco dentro de los estanques de producción, pero al retornar al río, esta vuelve a tener niveles aceptable de acuerdo con los parámetros establecidos en este sentido.

Un aspecto importante a tomar en consideración es que las mediciones realizadas durante el desarrollo del proyecto pueden ser replicadas en otras investigaciones, debido al carácter técnico de la misma, lo que facilita que otros investigadores puedan desarrollar proyectos similares en otros entornos, lo que no implica que se consigan los mismos resultados, puesto que estos dependen exclusivamente del entorno donde se realicen.

4.2 Recomendaciones

Los parámetros medidos en el agua de la estación se pueden considerar dentro de los valores normales aceptables. Sin embargo, es importante que se realicen monitoreos constantes, puesto que las condiciones de calidad del agua pueden variar debido a factores internos, siendo estos controlables. Entre ellos se pueden mencionar la alimentación y el manejo del cultivo. Igualmente, existe factores externos, tales como el PH y la temperatura, siendo estos no controlables. En este sentido, se hace necesario hacer seguimientos diarios, con el propósito de garantizar la calidad del agua utilizada en el cultivo, al igual que en la revertida al río.

Un aspecto que podría convertirse en una futura línea de investigación es la medición del nivel de residuos de alimentos en el agua de los estanques, antes de ir a los estanques de oxidación. Este fue un parámetro que no se midió en la presente investigación, lo que podría dar pistas respecto a las medidas que deben tomarse para mejorar los parámetros de alimentación de los peces.

5. Referencias

Agrotendencia. (2019). *Cultivo de Trucha*. Agrotendencia. https://agrotendencia.tv/agropedia/cultivo-de-la-trucha/

APROMAR. (2022). *La acuicultura en España 2022*. Apromar. https://apromar.es/apromar-publica-su-informe-anual-la-acuicultura-en-espana-2022/

Arévalo, T. P. D., y Urrego, G. G. A. (2021). *Diseño del Programa Gestión Ambiental para la Estación Piscícola las Brisas ubicada en la ciudad de Villavicencio, Meta* [Tesis de especialización, Universidad Ecci]. https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/1250

AUNAP. (2014). *Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca. Plan Nacional para el Desarrollo de la Acuicultura Sostenible en Colombia – PlaNDAS*. Imprenta Nacional de Colombia.

Beraún, E. M. M. (2023). *Sostenibilidad ambiental y el compromiso organizacional en la producción de truchas arcoíris–Junín*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/9922

Berger, C. (2020). La acuicultura y sus oportunidades para lograr el desarrollo sostenible en el Perú. *South Sustainability*, *1*(1), 1-11. DOI: 10.21142/SS-0101-2020-003

Bioenciclopedia. (2015). *Trucha*. Bioenciclopedia. https://www.bioenciclopedia.com/trucha/

Burbano, G. E., Nivia, D. G., Imues, F. M., Gonzalez, L. E., Gómez, D. M., & Pantoja, D. J. (2021). Efecto de cultivos piscícolas en los sedimentos y la proliferación de comunidades bacterianas nitrificantes en el lago Guamuez, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *22*(2). https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1581

Buschmann, A. (2001). *Impacto ambiental de la acuicultura- El Estado de la investigación en Chile y el Mundo* (Primera edición). Terram publicaciones.

Cabo, V. G., Rodríguez, M. V., & Bonilla, L. F. (2021). Responsabilidad social en la gestión del sector acuícola en el departamento del valle del Cauca. *RILCO DS: Revista de Desarrollo sustentable, Negocios, Emprendimiento y Educación*, *3*(25), 4. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8547364

Calle, M. S. (2023). Diseños de investigación cualitativa y cuantitativa. *Ciencia Latina. Revista Multidisciplinar*, *7*(4), 1865-1879. https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7016

Chaverra, G. S. C. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos: alternativas para una gestión sostenible. *Orinoquia*, *26*(1), 53-64. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9843251

Cipponeri, M. (2024). *Evaluación y estudio de impacto ambiental*. Editorial de la UNLP.

Coria, I. D. (2008). El estudio de impacto ambiental: características y metodologías. *Invenio*, *11*(20), 125-135. https://www.redalyc.org/pdf/877/87702010.pdf

Crespo, G. J. M., & Jiménez, P. A. (2021). Hacia el desarrollo sostenible de la pesca y la acuicultura en México: marcos normativos, organización socioeconómica y desafíos. *Cuadernos Geográficos*, *60*(3), 6-28. https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/30515

Cripps, S., & Bergheim, A. (2000). Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering*, *22*(1-2), 33-56. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144860900000315

De la Oliva, G. (2011). *Manual de buenas prácticas de producción acuícola en el cultivo de trucha arco iris* (Primera edición). Al-Invest.

Espinoza, G. (2001). *Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental* (primera edición). Banco Interamericano de Desarrollo.

Faneite, S. F. A. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios, 3*(8), 82-95. https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/226

Fernández-Rodríguez, M., Guardado-Lacaba, R. M., Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICAsup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología, 37*(1), 105–119.

García-Rodríguez, G., Sandoval-Rojas, M. E., Corona-Romano, E. R., Jesús-de la Rosa, R. E. D., Martínez-Romay, B., García-Gil, E., & García-Gil, E. (2021). Aplicación de dos metodologías para la evaluación de la calidad del agua de cuerpos superficiales destinados a la pesca en el sur del estado de Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 37*. https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v37/0188-4999-rica-37-89.pdf

Garmendia, A., Salvador, A., Crespo, C., & Garmendia, L. (2005). *Evaluación de impacto ambiental* (Primera edición). Pearson Educación.

Gómez, D., & Gómez, M. T. (2013). *Evaluación de Impacto Ambiental* (tercera edición). Ediciones Mundiprensa.

González, A. J. A., & Rosado, P. R. (2022). Composición del sedimento del sistema afluente-laguna de oxidación-efluente, en una granja intensiva de Oncorhynchus mykiss. *Revista de Medicina Veterinaria*, (44), 47-59. https://pdfs.semanticscholar.org/7e66/7a22760c505472582458f96327981b90504f.pdf

González, L. E. A., Duque, N. G., & Ángel, S. D. I. (2022). Cambios ambientales en agua y sedimentos por acuicultura en jaulas flotantes en el Lago Guamuez, Nariño, Colombia. *Acta Agronómica, 71*(1), 22-28. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122022000100022&script=sci_arttext

Grajales, T. (2000). *Tipos de investigación.* https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf

Gumucio, C. P., & Zúñiga, M. P. A. (2021). De la evaluación de impacto ambiental a la evaluación ambiental estratégica: desafíos para la política ambiental en Chile y América Latina. *Política y Gobierno, 28*(1). http://politicaygobierno.cide.edu/index.php/pyg/article/view/1337

Gutiérrez, F. J. E. (2020). La acuicultura como activo económico y social. *Mediterráneo Económico,* (33), 289-307. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7663547

Herbozo, F. J. L. (2024). *Agentes contaminantes provenientes de la acuicultura semi intensiva de langostino blanco (Litopenaeus vannamei) y su efecto en el ecosistema manglar y marino en el sector El alcalde y La Canela del Departamento de Tumbes, año 2016-2017*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/9341

Hernández, G. O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral, 37*(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252021000300002&script=sci_arttext

Juan, P. J. I. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Acta Universitaria, 27*(3), 36-56. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-62662017000300036&script=sci_abstract&tlng=pt

López, B. D. P. (2020). *Iluminación led para mejorar la producción en cultivos intensivos de tilapia y monitorear sólidos suspendidos en sistemas acuícolas con tecnología biofloc.*

[Tesis de doctorado, Universidad Autónoma De Zacatecas “Francisco García Salinas”]. http://148.217.50.3/jspui/handle/20.500.11845/2324

Luna, M. (2011). Efluente Piscícolas: Características contaminantes, impactos y perspectivas de tratamiento. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, *3*(1), 12-15. https://jci.uniautonoma.edu.co/2011/2011-2.pdf

Luna, M., Campos, F., & Medina, O. (2016). Evaluación de las aguas residuales del lavado de estanques multipropósito con cultivo de trucha arcoíris (Oncorhynchus mykiss). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *17*(2), 191-202. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-87062016000200004&script=sci_arttext

Machaca, Y. R. D. C. C., Olvea, N. C. V., & Aquino, M. M. (2022). Evaluación del impacto ambiental debido a la crianza de Trucha en la laguna Aricota, Tacna. *Ingeniería Investiga*, *4*. https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/view/584

Mahecha, R. I. M. (2023). *Evaluación del cianuro total de hojas de yuca (Manihot esculenta) y propuesta de métodos de eliminación en diferentes variedades de Colombia 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/86150/1015477828.2024.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Maiz, A., Valero, L., & Briceño, D. (2010). Elementos prácticos para la cría de truchas en Venezuela. *Mundo Pecuario, 6*(2), 157-168. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/137-truchas.pdf

Maure, D. M. (2023). Implementación del Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) en el sector de la construcción. *Universidad & ciencia*, *12*(1), 118-127. https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/2488

Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (2023, diciembre 1). Real Decreto 3/2023. *Por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*. BOE 9. https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/01/10/3

Ministerio de la Presidencia. (2022, 20 de enero). *Real Decreto 47/2022, de 18 de enero, sobre protección de las aguas contra la contaminación difusa producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.* BOE 17. https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2022-860

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial y Ministerio de Protección Social. (2007, 22 de junio). Resolución 2115 de 2020. *Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.* Diario Oficial No. 46.679. https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográficos (s.f.). *Protección de las aguas frente a la eutrofización*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/proteccion-eutrofizacion.html

Muñoz, A. H. S. (2022). Guanajuato rumbo al desarrollo sustentable: Estudio de caso de acuicultura sostenible para comunidades de alto riesgo eco-toxicológico. *XXVII verano de la ciencia*, *16*, 1-11. http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/7388

Naspirán, J. D. C., Fajardo, R. A. G., Ueno, F. M., & Collazos, L. L. F. (2022). Perspectivas de una producción sostenible en acuicultura multitrófica integrada (IMTA): una revisión. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, *69*(1), 75-97. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-29522022000100075&script=sci_arttext

National Geographic. (2010). *Trucha Arocíris.* National Geographic. https://www.nationalgeographic.es/animales/trucha-arcoiris

Orna, R. E. F. (2024). Impactos de la truchicultura en los nutrientes del agua y macroinvertebrados bentónicos en la Bahía de Puno, Lago Titicaca. *Revista de Investigación Universitaria, 13*(1), 949-960. http://revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/109/0

Pardo, S., Suárez, H., & Soriano, E. (2006). Tratamiento de efluentes: una vía para la acuicultura responsable. *Revista MVZ Córdoba, 11*(Supl), 20-29. https://revistamvz.unicordoba.edu.co/article/view/1041

Pena, E., & Chang, J. (2009). *Proyecto investigación 2007-oxígeno disuelto*. https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf

Peña, R. L. A., & Sánchez, De la P. W. A. (2021). *Estudio de factibilidad para implementar sistemas de recirculación acuícola (RAS) aplicado a la tilapia roja en los departamentos del Tolima y Huila, disminuyendo los impactos ambientales en fuentes hídricas producidos por la piscicultura convencional.* [Tesis de especialización, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. https://repository.uniminuto.edu/items/00d5332a-ad56-4e30-a5ad-254b4a9648d5

Piamba, M. T. M., Zambrano, L. E., Rúales, L. A. M., & Gonzales, F. A. R. (2020). Implementación de un sistema de monitoreo IoT aplicado a una piscicultura de trucha. *Inf. Técnico, 85*(1), 3–19. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7868820

Pineda, C. D. Y., Medina, V. Ó. J., & Falla, R. G. (2021). Enseñanza del concepto de pH desde la perspectiva del pensamiento científico: una revisión sistemática exploratoria. *Pensamiento y Acción,* (30), 37-51. https://revistas.uptc.edu.co/index.php/pensamiento_accion/article/view/12129

Pinilla, C. (2017). *Impacto ambiental*. Fundación Universitaria del Área Andina. https://core.ac.uk/download/pdf/326426051.pdf

Ponce, P. J. T., Cruz, O. R., Vargasmachuca, S. C., Nochebuena, P. A., Ulloa, G. M., Sala, R. G., ... & Lea, H. E. (2022). El desarrollo sostenible de la acuicultura en América Latina. REDVET. *Revista Electrónica de Veterinaria*, *7*(7), 1-16. https://www.redalyc.org/pdf/636/63612753004.pdf

Rondón, H. D. F. (2020). *Relación entre lo ambiental y lo fisicoquímico. El caso del oxígeno disuelto.* [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. Repositorio upnblib. pedagogica. http://upnblib.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/12602

Ruelas, L., López, G. E., & Canela, M. V. (2020). Uso y disposición del agua en la acuicultura: ¿falta o exceso de regulación? *Teoría y Praxis*, (29), 26-46. https://revistateoriaypraxis.uqroo.mx/index.php/typ/article/view/8

Salamanca, C. A. B. (2019). Checklist para autores y checklist para lectores: diferentes herramientas con diferentes objetivos. *Nure investigación*, *16*(99), 1-4. https://www.nureinvestigacion.es/OJS/index.php/nure/article/view/1769

Servicio de Evaluación Ambiental. (2023). *Criterio de evaluación en el SEIA: alcances y principios metodológicos para la evaluación de los impactos ambientales* (Primera edición). Gobierno de Chile.

Sigler, A., & Bauder, J. (2017). *Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales*. Well Educated Educación en el Agua de Pozo. http://region8water.colostate.edu/pdfs/we_espanol/alkalinity_ph_tds%202012-11-15-sp.pdf

Simon, J. W., Guajardo, S. G., & Sáez, C. C. (2023). La promoción estatal de la acuicultura sustentable: controversias sobre el desarrollo en el centro-sur de Chile. *Política y*

Sociedad, *60*(2). https://www.researchgate.net/profile/Jeanne-Simon-3/publication/372383357_La_promocion_estatal_de_la_acuicultura_sustentable_controversias_sobre_el_desarrollo_en_el_centro-sur_de_Chile/links/64d20fd291fb036ba6d676a8/La-promocion-estatal-de-la-acuicultura-sustentable-controversias-sobre-el-desarrollo-en-el-centro-sur-de-Chile.pdf

Solís, C. Y., Zúñiga, Z. L. A., & Mora, A. D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, *31*(1), 35-46. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=s0379-39822018000100035&script=sci_arttext

Soto, A. D. J. (2022). *Estrategia ambiental de piscicultura como aporte al desarrollo local sostenible en el municipio de Agustín Codazzi–Cesar* [Tesis de especialización, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. https://repository.udistrital.edu.co/items/3f5e9543-1b70-4ed3-ac9b-4297e94d04a8

Soto, H. I. E. (2024). *Viabilidad del cultivo a gran escala de la trucha arcoíris en el Perú.* [Tesis de maestría, Universidad San Luis Gonzaga]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNIC_1cbf51dd6c423938303cc14b89ee8405

Tapia, C. E. F., & Cevallos, K. L. F. (2024). Aplicación de las pruebas no paramétricas de signos y Wilcoxon en la toma de decisiones empresariales. *Espíritu Emprendedor TES*, *8*(2), 64-83. http://mail.espirituemprendedortes.com/index.php/revista/article/view/366

Toala, G. E. M., Indacochea, N. F. O., & Lima, P. R. J. (2020). Evaluación del impacto ambiental de los desechos producidos en talleres mecánicos de Jipijapa: Evaluación del impacto ambiental. *Revista Científica Sinapsis*, *3*(18). https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8280938

Toro, J., Martínez, R., & Arrieta, G. (2013). Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. *Revista de investigación agraria y ambiental, 4*(2), 43-53. https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/990

Troncoso, S. L., & Chacón, F. D. (2022). Proyectos de acuicultura en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental: Hacia una delimitación conceptual y práctica de su evaluación. *Revista de derecho (Coquimbo), 29*. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-97532022000100207&script=sci_arttext

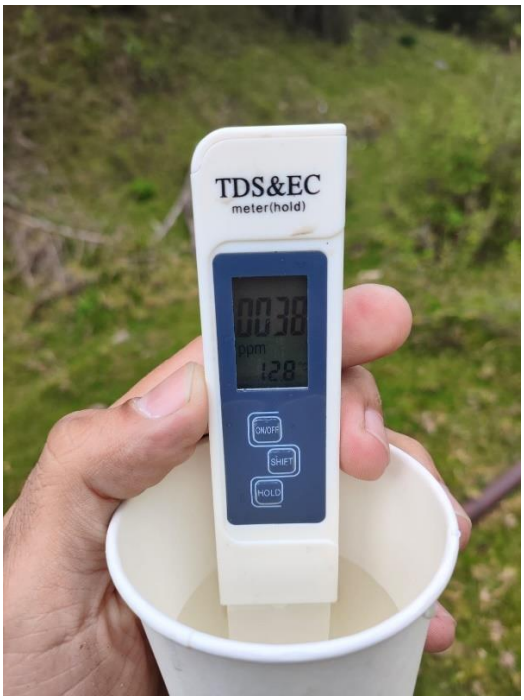
Valdez, M. A., & Gálvez, A. N. E. (2024). *Análisis funcional de operatividad y adecuaciones de batería de producción de crudo en yacimiento convencional*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Comahue]. http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/17855

Vásquez, W., Talavera, M., & Inga, M. (2016). Evaluación del impacto en la calidad de agua debido a la producción semi intensiva de trucha (Oncorhynchus mykiss) en jaulas flotantes en la laguna Arapa-Puno. *Revista de la Sociedad Química del Perú, 82*(1), 15-28. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2016000100003&script=sci_arttext&tlng=pt

Yáñez, A. (2008). Impacto ambiental y metodología de análisis. *Byocit, 1*(2), 7-15. https://www.google.com.co/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3621187.pdf&ved=2ahUKEwiS3e3w9u2KAxUiTTABHZExMYgQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw1GsK15vCcSIk_p9UCY_IMm

Apéndices

Apéndice 1. Registro fotográfico de la toma de muestras





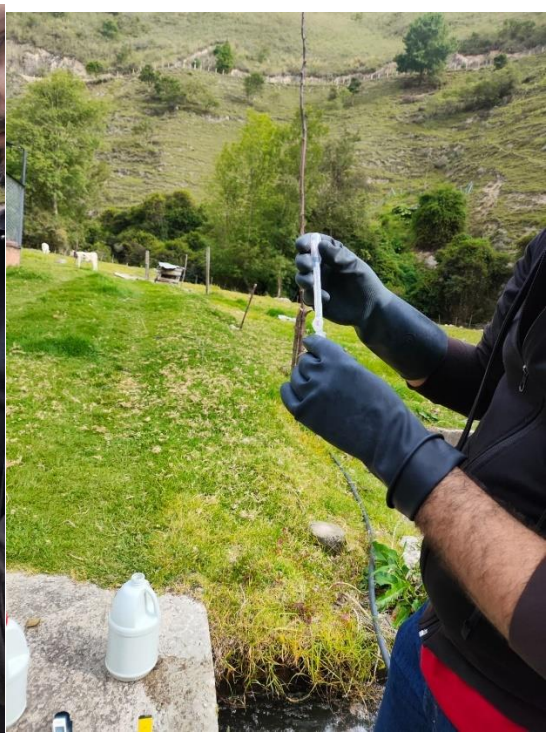











OM




pH
ATC


TDS&EC
meter(hold)


TDS&EC
meter(hold)


TDS&EC
meter(hold)
ON/OFF
SHIFT
HOLD


OMI
pH
7.1
ATC
P3-12m


pH
7.1
ATC
P3-12m


TDS&EC
meter(hold)
P2-12m


OMI
BLUE
DOMICILIOS
TDS&EC
meter(hold)
P3-12m




TDS&EC
meter(hold)


TDS&EC
meter(hold)


pH
ATC





TDS&EC













