



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## **FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO  
DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO  
SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO  
NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE  
OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON  
IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título  
de Ingenieros Ambientales

**Autores:**

Iturralde Gamboa Joel Marcelo  
Yépez Guerra Wendy Dayana

**Tutor:**

Ágreda Oña José Luis

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Agosto 2024**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Iturralde Gamboa Joel Marcelo, con cédula de ciudadanía No. 1750969287 y Yépez Guerra Wendy Dayana, con cédula de ciudadanía No. 0401668017, declaramos ser autores del presente Proyecto de Investigación: **“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**, siendo el Ingeniero Ágreda Oña José Luis M.Sc, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Joel Marcelo Iturralde Gamboa

C.C: 1750969287

**ESTUDIANTE**

Latacunga, 16 de agosto del 2024



Wendy Dayana Yépez Guerra

C.C: 0401668017

**ESTUDIANTE**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **ITURRALDE GAMBOA JOEL MARCELO**, identificado con cédula de ciudadanía **1750969287** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Octubre 2018 - Marzo 2019

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña

Tema: **“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicite.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de agosto del 2024.



Joel Marcelo Iturralde Gamboa

**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **YÉPEZ GUERRA WENDY DAYANA**, identificada con cédula de ciudadanía **0401668017** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

### **Historial Académico**

Inicio de la carrera: Octubre 2020 - Marzo 2021

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2024

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024

Tutor: Ingeniero Mg. José Luis Ágreda Oña

Tema: **“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.

**CLÁUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicite.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 16 días del mes de agosto del 2024.



Wendy Dayana Yépez Guerra

**LA CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

**LA CESIONARIA**

## **AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**, de Iturralde Gamboa Joel Marcelo y Yépez Guerra Wendy Dayana, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 16 de agosto del 2024



Ing. José Luis Agreda Oña Msc.

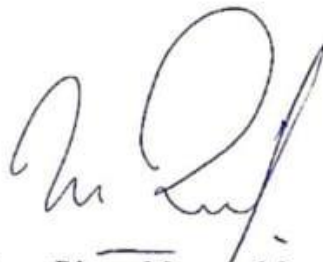
C.C: 0401332101

**DOCENTE TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Iturralde Gamboa Joel Marcelo y Yépez Guerra Wendy Dayana, con el título de Proyecto de Investigación: "DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN", han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.



Ing. Marco Rivera Moreno, Mg.  
C.C: 0501518955  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**

Latacunga, 16 de agosto del 2024



Lic. Patricio Clavijo Cevallos, Ph.D.  
C.C: 0501444582  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Eduardo Cajas Cayo, Mg.  
C.C: 0502205164  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a quienes han sido una fuente inagotable de apoyo y motivación a lo largo de este viaje académico. En primer lugar, quiero dedicar un pensamiento especial a Steve Iturralde y Jorge Gamboa, cuyas enseñanzas y cariño permanecen en mi corazón y cuyo legado sigue inspirándome cada día. Su memoria ha sido un faro de luz en momentos de incertidumbre.*

*A mis padres, Marcelo y Sugey, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios, los cuales han hecho posible este logro. A mi abuela, Lucila Mayorga, por sus consejos sabios y el cariño que siempre me han brindado. A mis tíos, por su ánimo y fe en mí. Y a mis hermanas, Madeleine y Zoé, por su compañía sus ocurrencias y apoyo inquebrantable. Su aliento y comprensión han sido fundamentales para alcanzar esta meta.*

*A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento. Este trabajo es un reflejo de su amor y dedicación.*

**Joel Marcelo Iturralde Gamboa**

***AGRADECIMIENTO***

*Gracias a mis padres por el amor incondicional que siempre me brindan y a mis hermanos por sus locuras que siempre me sacan sonrisas.*

***Wendy Dayana Yépez Guerra***

### ***DEDICATORIA***

*Dedico este trabajo a la memoria de Steve Iturralde y Jorge Gamboa, cuyas vidas y enseñanzas siguen siendo una fuente de inspiración. A mis padres Marcelo y Sugey por su esfuerzo constante y dedicación para que mi formación sea de bien, abuelos, tíos y hermanas, cuyo amor y apoyo han hecho posible que este sueño se haga realidad.*

***Joel Marcelo Iturralde Gamboa***

### **DEDICATORIA**

*A mi padre Ricardo Yépez por brindarme su apoyo incondicional y ser uno de los pilares más importantes en mi vida, a mi madre Janeth Guerra por ser el ejemplo de una mujer fuerte y luchadora que con su sonrisa siempre me recuerda lo bello de la vida. Este trabajo es por y para ustedes por todo el sacrificio que hacen día tras día para vernos felices a mí y a mis hermanos.*

*A mis hermanos Johnny, Brayan y Kevin que nunca me dejan sola, gracias a ellos por sus consejos y sus regaños, pero ante todo por siempre estar apoyándome en lo que decida.*

*A mi familia que siempre me brida su mano cuando lo necesito, a mis ángeles en el cielo que siempre vivirán en mi corazón Nabor y Alfonso.*

*A mis amigos que son mi segunda familia.*

**Wendy Dayana Yépez Guerra**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**

**TÍTULO: “DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN”**

Autores:

Iturralde Gamboa Joel Marcelo

Yépez Guerra Wendy Dayana

**RESUMEN**

El presente proyecto de investigación se enfoca en el diseño y evaluación de un sistema integrado de tanque de oxidación para el tratamiento sostenible de las aguas residuales del río Nambillo, situado en la Parroquia Mindo, Cantón San Miguel de los Bancos, Provincia de Pichincha. Esta región, conocida por su biodiversidad y rica en recursos hídricos, enfrenta desafíos relacionados con la contaminación de sus aguas debido a actividades antropogénicas. El objetivo principal de la investigación es desarrollar un sistema que combine tecnologías avanzadas de oxidación, utilizando ozono y peróxido de hidrógeno, con biorremediación para mejorar la calidad del agua antes de su vertido en el medio ambiente. Para lograr este objetivo, el proyecto se dividió en varias fases, comenzando con la caracterización física, química y biológica del agua del río Nambillo. A partir de esta información, se diseñó un prototipo de tanque de oxidación adaptado a las condiciones específicas del sitio de estudio. La evaluación del sistema se realizó a través de pruebas de laboratorio y simulaciones en campo, donde se analizaron parámetros como la reducción de materia orgánica, la disminución de patógenos, y la mejora de la calidad general del agua. Los resultados mostraron que el sistema de tratamiento propuesto es capaz de reducir significativamente los niveles de contaminación, alcanzando estándares aceptables para la descarga segura del agua tratada. No obstante, la investigación también identificó la necesidad de optimizar ciertos aspectos del diseño y operación del sistema, particularmente en la dosificación de reactivos y la integración con procesos de biorremediación. Finalmente, el proyecto propone medidas para la implementación a gran escala del sistema en la región, destacando la importancia de involucrar a las comunidades locales en el proceso de conservación y gestión de recursos hídricos. Se recomienda la adopción de políticas que promuevan la sostenibilidad ambiental y el desarrollo de infraestructura verde en zonas sensibles como Mindo. Además, se subraya la necesidad de continuar con investigaciones complementarias que perfeccionen el sistema y aseguren su viabilidad a largo plazo, contribuyendo así a la preservación de los recursos naturales y al bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

**Palabras clave:** Tratamiento de aguas, Oxidación, Aguas residuales, Sostenibilidad, Biorremediación

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI  
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL  
RESOURCES**

**THEME: "DESIGN AND EVALUATION OF AN INTEGRATED  
OXIDATION TANK SYSTEM FOR THE SUSTAINABLE TREATMENT  
OF WASTEWATER FROM THE NAMBILLO RIVER USING ADVANCED  
OXIDATION TECHNOLOGIES WITH OZONE AND PEROXIDE, AND  
THE IMPLEMENTATION OF BIOREMEDIATION"**

Author:

Iturralde Gamboa Joel Marcelo

Yépez Guerra Wendy Dayana

**ABSTRACT**

This research project focuses on the design and evaluation of an integrated oxidation tank system for the sustainable treatment of wastewater from the Nambillo River, located in the Parish of Mindo, San Miguel de los Bancos Canton, Pichincha Province. This region, known for its biodiversity and rich water resources, faces challenges related to water contamination due to anthropogenic activities. The main objective of the research is to develop a system that combines advanced oxidation technologies, using ozone and hydrogen peroxide, with bioremediation to improve water quality before its discharge into the environment. To achieve this objective, the project was divided into several phases, beginning with the physical, chemical, and biological characterization of the Nambillo River's water. Based on this information, a prototype oxidation tank was designed, tailored to the specific conditions of the study site. The system was evaluated through laboratory tests and field simulations, where parameters such as the reduction of organic matter, pathogen elimination, and overall improvement of water quality were analyzed. The results demonstrated that the proposed treatment system is capable of significantly reducing contamination levels, achieving acceptable standards for the safe discharge of treated water. However, the research also identified the need to optimize certain aspects of the system's design and operation, particularly in the dosing of reagents and the integration with bioremediation processes. Finally, the project proposes measures for large-scale implementation of the system in the region, emphasizing the importance of involving local communities in the conservation and management of water resources. It is recommended to adopt policies that promote environmental sustainability and the development of green infrastructure in sensitive areas such as Mindo. Furthermore, the need to continue complementary research to refine the system and ensure its long-term viability is underscored, thereby contributing to the preservation of natural resources and the well-being of the communities that depend on them.

**Keywords:** Water treatment, Oxidation, Wastewater, Sustainability, Bioremediation

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR ....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	vii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	viii
<i>AGRADECIMIENTO</i> .....	ix
<i>Agradecimiento</i> .....	x
<i>Dedicatoria</i> .....	xi
<i>DEDICATORIA</i> .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INDICE DE TABLAS .....	xix
INDICE DE FIGURAS.....	xix
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>3</b>
<b>3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>5. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
5.1. Objetivo general .....	6
5.2. Objetivos específicos.....	7
<b>6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREA .....</b>	<b>7</b>
<b>7. FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA TÉCNICA .....</b>	<b>9</b>
<b>8.1. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales.....</b>	<b>9</b>
<b>8.2. Tanques De Oxidación .....</b>	<b>10</b>

8.3.	<b>Oxidación Avanzada Con Ozono Y Peróxido</b> .....	11
8.4.	<b>Biorremediación</b> .....	12
8.5.	<b>Interacción Entre Tecnologías De Tratamiento</b> .....	13
8.6.	<b>Impacto Ambiental Y Sostenibilidad</b> .....	13
8.7.	<b>Origen Y Características De Las Aguas Residuales</b> .....	14
8.8.	<b>Carga Contaminante Y Habitantes Equivalentes</b> .....	15
8.9.	<b>Esquema De Depuración</b> .....	15
8.10.	<b>Consideraciones Preliminares Y Criterios De Selección</b> .....	15
8.11.	<b>Caudales De Diseño Y Canal De Entrada</b> .....	16
8.12.	<b>Teoría De La Aireación</b> .....	16
8.13.	<b>Tecnologías de membranas en el tratamiento de aguas residuales.</b> 17	
8.14.	<b>Biofiltración en el tratamiento de aguas residuales</b> .....	17
8.15.	<b>Tratamiento de Aguas Residuales con Reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)</b> .....	18
8.16.	<b>Filtros percoladores y tratamientos secundarios con filtros biológicos</b> .....	18
8.	<b>MARCO LEGAL</b> .....	19
9.	<b>VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.</b> .....	20
10.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	22
10.1.	Caracterización del río Nambillo:.....	22
10.2.	Caracterización del agua residual: .....	22

10.2.1.	Diseño del sistema de tratamiento:.....	23
10.2.2.	Interacción entre tecnologías y evaluación de eficiencia y control de calidad: 23	
10.3.	Técnicas. ....	23
10.3.1.	Muestreo:.....	23
10.3.2.	Análisis de Laboratorio: .....	23
10.3.3.	Diseño del Sistema de Tratamiento:.....	24
10.3.4.	Monitoreo y Evaluación: .....	24
10.4.	Instrumentos.....	24
10.4.1.	Equipos de Muestreo: .....	24
10.4.2.	Instrumentos de Análisis de Laboratorio:.....	24
10.4.3.	Generadores de Ozono y Dosificadores de Peróxido: .....	24
10.4.4.	Sistemas de Aireación: .....	24
10.4.5.	Sensores y Equipos de Monitoreo:.....	24
10.4.6.	Equipos de Seguridad:.....	25
10.5.	Fase de laboratorio.....	25
10.5.1.	Sólidos totales.....	25
10.5.2.	Sólidos suspendidos .....	25
10.5.3.	Sólidos disueltos.....	26
10.5.4.	DQO .....	26
10.5.5.	Turbidez.....	26

10.5.6.	Oxidación Avanzada con O <sub>3</sub> y H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> :	27
10.5.7.	Biorremediación:	27
10.6.	Prototipo:	27
<b>11.</b>	<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>30</b>
11.1.	Zona de estudio	30
11.2.	Sólidos disueltos	33
11.3.	Sólidos suspendidos	33
11.4.	Sólidos disueltos	38
11.5.	DQO	39
11.6.	Parámetros	40
11.7.	Modelo en 3D del tanque	43
11.8.	Resultados del Tanque de Oxidación Tras la Prueba	49
11.9.	Cuadro comparativo	50
<b>12.</b>	<b>IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)</b>	<b>56</b>
12.1.	Impactos técnicos	56
12.2.	Impactos Sociales	57
12.3.	Impactos Ambientales	57
12.4.	Impactos Económicos	58
<b>13.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>59</b>
13.1.	CONCLUSIONES	59
13.2.	RECOMENDACIONES	60

14.	Bibliografía .....	61
15.	ANEXOS .....	38
15.1.	ANEXO 1 IMÁGENES DE RECOLECCION DE MUESTRAS .....	38
15.2.	ANEXO: AVAL DE TRADUCCION .....	41
15.3.	ANEXO: CERTIFICADO DL AVAL DE TRADUCCION .....	42

### **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1:	Beneficiarios del Proyecto. ....	5
Tabla 2:	Actividades de sistema de tarea. ....	7
Tabla 3:	Cálculos del prototipo del tanque de oxidación. ....	27
Tabla 4:	Puntos de muestreo. ....	31
Tabla 5:	Cálculos de sólidos totales. ....	33
Tabla 6:	Cálculos de sólidos suspendidos. ....	33
Tabla 7:	Cálculos de sólidos disueltos. ....	38
Tabla 8:	Datos de sólidos DQO. ....	39
Tabla 9:	Parámetros.....	41
Tabla 10:	Características de la bomba de succión. ....	44
Tabla 11:	Resultados de la muestra percolada. ....	50
Tabla 12:	Cuadro comparativo de la eficiencia del filtro.....	50

### **INDICE DE FIGURAS**

Figura 1:	Modelo 2D del prototipo creado en AutoCAD. ....	30
Figura 2:	Mapa de los puntos de muestreo .....	31
Figura 3:	Bomba de succión y tanque de agua sin tratar.....	44

Figura 4: Válvula esférica. ....	45
Figura 5: Tee. ....	45
Figura 6: Codo. ....	45
Figura 7: Unión. ....	46
Figura 8: Llave de paso. ....	46
Figura 9: Neplo corrido. ....	46
Figura 10: Tubo de media. ....	47
Figura 11: Tanque percolador. ....	47
Figura 12: Bomba de ozono. ....	48
Figura 13: Modelo del tanque de oxidación en 3D. ....	49

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:**

“Diseño y evaluación de un sistema integrado de tanque de oxidación para el tratamiento sostenible de aguas residuales del río Nambillo mediante tecnologías avanzadas de oxidación con ozono y peróxido, con implementación de biorremediación”

**Fecha de inicio:**

Febrero, 2024

**Fecha de finalización:**

Septiembre, 2024

**Lugar de ejecución:**

Centro de Experimentación Académica Salache (CEASA).

**Facultad que auspicia:**

Universidad Técnica de Cotopaxi, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

**Carrera que auspicia:**

Carrera de Ingeniería Ambiental.

**Nombres de equipo de investigación:**

Tutor: Ing. José Luis Agreda Oña, Mg.

Estudiante 1: Joel Marcelo Iturralde Gamboa.

Estudiante 2: Wendy Dayana Yépez Guerra.

LECTOR 1: Mg. Marco Rivera Moreno.

LECTOR 2: Dr. Patricio Clavijo.

LECTOR 3: Mg. Eduardo Cajas.

**Coordinador del Proyecto:****Coordinador 1:**

Nombre: Joel Marcelo Iturralde Gamboa

Teléfono: 098 364 9946

Correo electrónico: joel.iturralde9287@utc.edu.ec

**Coordinador 2:**

Nombre: Wendy Dayana Yépez Guerra

Teléfono: 0978791123

Correo electrónico: wendy.yepez8017@utc.edu.ec

**Área de conocimiento:**

Ciencias Naturales, Medio Ambiente, Ciencias Ambientales.

**Línea de investigación:**

Análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local.

**Línea de vinculación de la carrera:**

Gestión de recursos naturales, Biodiversidad, Biotecnología y Genética, para el Desarrollo Humano y Social.

**Sub-línea de Investigación de la carrera:**

Manejo y Conservación de los recursos naturales.

## 2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La calidad del agua del río Nambillo se ha visto comprometida debido a diversas fuentes de contaminación, incluyendo desechos domésticos, agrícolas e industriales (Environmental information systems, 2018). Esta situación no solo afecta la biodiversidad y la salud del ecosistema acuático, sino también la salud y el bienestar de la comunidad de Mindo, que depende del río para diversas actividades cotidianas. Además, Mindo es un importante destino turístico conocido por su riqueza natural y biodiversidad, y la degradación de la calidad del agua puede tener repercusiones negativas en el turismo local, afectando la economía de la región (Aguirre et al., 2022). El río Nambillo es un componente esencial del ecosistema de Mindo, hogar de numerosas especies de flora y fauna. La preservación de su calidad es crucial para mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad. Además, el río atrae a turistas de todo el mundo que vienen a disfrutar de actividades como el avistamiento de aves, senderismo y deportes acuáticos (Alfárez & Nieves, 2019). Un río limpio y saludable es fundamental para sostener y promover un turismo sostenible en la región. La comunidad de Mindo se beneficia directamente de un río Nambillo limpio y saludable. La mejora de la calidad del agua tiene múltiples beneficios. La reducción de contaminantes y patógenos en el agua disminuye el riesgo de enfermedades hídricas, mejorando la salud general de la población (Álvarez et al., 2011). Un río limpio mejora el entorno de vida, proporcionando un espacio seguro y agradable para actividades recreativas y comunitarias.

La mejora de la calidad del agua apoya el turismo sostenible, una fuente importante de ingresos para la comunidad. Un entorno natural bien conservado atrae a más visitantes y aumenta las oportunidades económicas para los residentes locales (González & De Las Mercedes, 2023). Este proyecto se distingue por su enfoque innovador y sostenible en el tratamiento de aguas residuales.

La combinación de tecnologías de oxidación avanzada y biorremediación no solo es efectiva en la eliminación de contaminantes, sino que también es ecológica y económicamente viable. El uso de estas tecnologías permite tratar una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos, adaptándose a las variaciones en la calidad del agua a lo largo del año (Bo et al., 2024). El diseño e implementación de

un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales tiene beneficios significativos tanto ambientales como sociales. El sistema propuesto reducirá significativamente la concentración de contaminantes en el agua del río Nambillo, mejorando su calidad y contribuyendo a la restauración del ecosistema.

Con la implementación del proyecto servirá como una herramienta educativa, aumentando la conciencia sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales y la conservación del medio ambiente entre los residentes y visitantes. El éxito de este proyecto puede servir como un modelo para otras comunidades que enfrentan problemas similares de calidad del agua (Cieza et al., 2021).

Una replicación de este sistema en diferentes contextos puede amplificar sus beneficios a nivel regional y nacional. El enfoque técnico del proyecto se basa en principios científicos sólidos y en la experiencia acumulada en el tratamiento de aguas residuales.

Combinando las tecnologías de oxidación avanzada y biorremediación es una estrategia probada y eficaz para la eliminación de contaminantes persistentes. La adaptación de estas tecnologías a las condiciones específicas del río Nambillo garantiza una alta eficiencia en el tratamiento, mientras que la integración de métodos biológicos asegura un enfoque sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Cusiche & Miranda, 2019). Siendo una necesidad mejorar la calidad del agua del río Nambillo para proteger la salud pública, preservar la biodiversidad y promover el desarrollo sostenible de la comunidad de Mindo.

Es necesaria la implementación de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales que combina tecnologías avanzadas de oxidación y biorremediación es una solución innovadora y sostenible que traerá beneficios a largo plazo para el medio ambiente y la sociedad.

### **3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

La implementación de tecnología avanzada es fundamental para alcanzar un desarrollo sostenible y proteger los ecosistemas. Este proyecto tendrá un impacto directo en la comunidad local de la parroquia Mindo, ya que proporcionará información crucial sobre la calidad del agua del río Nambillo. Esto permitirá tomar

medidas para mejorar la calidad del agua, beneficiando tanto a la comunidad como a los turistas que visitan la región. Como resultado, los visitantes podrán disfrutar de un entorno más limpio y saludable, impulsando así un turismo sostenible en la zona.

**Tabla 1:** Beneficiarios del Proyecto.

Beneficiarios directos	Beneficiarios indirectos
<b>Parroquia de Mindo</b>	Cantón Pujilí
<b>Hombres: 1,902</b>	Hombres: 10577
<b>Mujeres: 1,940</b>	Mujeres: 9319
<b>200,000 turistas anuales (Hombres y Mujeres)</b>	
Total: 203,842	<b>Total: 19870</b>

Fuente: (INEC, 2010)

Nota: La tabla número 1 menciona de manera detallada la cantidad de personas beneficiadas con el desarrollo del presente proyecto.

#### 4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto "Diseño y Evaluación de un Sistema Integrado de Tanque de Oxidación para el Tratamiento Sostenible de Aguas Residuales del río Nambillo mediante Tecnologías Avanzadas de Oxidación con Ozono y Peróxido, con Implementación de Biorremediación", situado en la Parroquia Mindo, Cantón San Miguel de los Bancos, Provincia de Pichincha, surge como respuesta a la problemática de la calidad del agua en una zona de gran importancia paisajística y turística. Este proyecto no solo busca ofrecer conocimientos teóricos, sino también proporcionar una solución práctica y replicable para mejorar la calidad del agua en la región (Amaya & Gélvez, 2023). Los principales beneficiarios serán la comunidad local de Mindo, que experimentará mejoras en la calidad del agua, y los turistas, quienes disfrutarán de un entorno más saludable y atractivo. La relevancia del proyecto se

enfatisa al abordar un problema ambiental importante y alinearse con estándares nacionales e internacionales de conservación y sostenibilidad. En este contexto, el descuido de la población local en general en cuanto al tratamiento del agua, especialmente en el río Nambillo, ha generado una situación que requiere atención inmediata. La región, conocida por su vital importancia ecológica y su atractivo turístico, demanda una atención adecuada para preservar su entorno natural único y garantizar su sostenibilidad a largo plazo (Duque & Zagal, 2023). El objetivo principal del proyecto es abordar esta problemática mediante el desarrollo e implementación de un sistema innovador de tratamiento de aguas residuales, centrado en un tanque de oxidación que incorporará peróxido de hidrógeno y ozono. En este sentido, la biorremediación se ha integrado como un componente esencial del sistema, aprovechando microorganismos específicos para la degradación de contaminantes presentes en el agua residual del río Nambillo. La investigación comprende una evaluación inicial de la calidad del agua en el río Nambillo, seguida del diseño de un tanque de oxidación específico para el entorno. Los sistemas de tratamiento propuestos no sólo garantizarán la sostenibilidad del proyecto, sino que también respaldan su eficacia, todo ello respaldado por un programa de monitoreo continuo para asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad del agua. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede diseñarse y evaluarse un sistema integrado de tanque de oxidación que incorpore tecnologías avanzadas de oxidación con ozono, peróxido y biorremediación para el tratamiento sostenible de aguas residuales del río Nambillo, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua y preservar la salud del ecosistema acuático y la comunidad local?

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

Desarrollar un prototipo de tanque de oxidación para el tratamiento sostenible de aguas residuales del río Nambillo, empleando tecnologías avanzadas de oxidación con ozono y peróxido, junto con biorremediación.

## 5.2. Objetivos específicos

- Identificar las fuentes de contaminación y evaluar los parámetros fisicoquímicos y biológicos del río Nambillo para establecer una línea base y los requisitos del sistema de tratamiento.
- Diseñar un prototipo de tanque de oxidación adaptado a las condiciones específicas del río Nambillo, integrando tecnologías de oxidación avanzada y biopelículas para la biorremediación.
- Analizar la eficacia del prototipo en la eliminación de contaminantes y su impacto en la calidad del agua, asegurando el cumplimiento de los estándares mediante pruebas experimentales y análisis de muestras.

## 6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREA

**Tabla 2:** Actividades de sistema de tarea.

<b>Objetivos</b>	<b>Actividades</b>	<b>Metodología</b>	<b>Resultado</b>
<b>1. Identificar las fuentes de contaminación y evaluar los parámetros físico-químicos y biológicos del río Nambillo para establecer una línea base y los</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recopilación de datos existentes sobre el río Nambillo.</li> <li>• Muestreo y análisis de agua en diferentes puntos del río</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica.</li> <li>• Trabajo de campo: toma de muestras de agua.</li> <li>• Análisis de laboratorio de parámetros físico-químicos y biológicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informe detallado sobre el estado actual de la calidad del agua del río Nambillo</li> <li>• Mapa de los puntos de recolección.</li> </ul>
	Identificación de fuentes de contaminación		

---

**requisitos  
del  
sistema de  
tratamiento.**

**2. Diseñar un prototipo de tanque de oxidación adaptado a las condiciones específicas del río Nambillo, integrando tecnología de oxidación avanzada y biopelículas para la biorremediación.**

- Desarrollo del diseño del prototipo del tanque de oxidación
  - Selección y configuración de los sistemas de ozono y peróxido
  - Implementación de biopelículas en piedras del tanque
  - Diseño asistido por computadora (CAD)
  - Experimentación con diferentes configuraciones de sistemas de oxidación
  - Cultivo y aplicación de biopelículas en laboratorio
  - Prototipo del tanque de oxidación diseñado
  - Especificaciones técnicas del sistema de oxidación y biorremediación
-

---

<b>3. Analizar la eficacia del prototipo en la eliminación de contaminantes y su impacto en la calidad del agua, asegurando el cumplimiento de los estándares mediante pruebas experimentales y análisis de muestras.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● -Pruebas experimentales con el prototipo</li> <li>● Muestreo y análisis del agua tratada</li> <li>● Comparación de la calidad del agua antes y después del tratamiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ejecución de pruebas piloto</li> <li>● Análisis de laboratorio de parámetros de calidad del agua tratada</li> <li>● Análisis comparativo de datos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Informe de evaluación de la eficacia del prototipo</li> <li>● Datos de mejora en la calidad del agua del río Nambillo</li> </ul>
---	--	---	---

---

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

### 8.1. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales

El propósito principal del tratamiento del agua residual es eliminar el material contaminante, tanto orgánico como inorgánico, que puede estar en forma de partículas en suspensión o disueltas, con el fin de cumplir con los estándares de calidad del agua establecidos por la normativa o para su reutilización. Un sistema

de tratamiento de aguas residuales consta de una serie de operaciones y procesos unitarios que integran operaciones físicas, químicas y biológicas. Estos componentes se seleccionan en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, al retirar el material contaminante del agua residual, este se transforma o se transfiere, lo que conlleva la generación de residuos, como los lodos, y emisiones gaseosas (Valle González, 2020). Las cantidades y la calidad de estos residuos depende tanto de las características del agua residual como de la configuración del sistema de tratamiento. Por lo tanto, el diseño y la operación eficientes de los sistemas de tratamiento son cruciales para minimizar los residuos y maximizar la eficacia del proceso de tratamiento (Nivia, 2021).

Las técnicas avanzadas de oxidación (Taos) son métodos innovadores para tratar aguas residuales industriales, diseñados para oxidar una amplia gama de contaminantes orgánicos de manera más eficiente que los procesos convencionales. Estos procesos generan radicales OH, altamente oxidantes, que convierten los compuestos orgánicos en dióxido de carbono, agua y sustancias inorgánicas, las TAOs han demostrado ser altamente eficientes y se utilizan comúnmente en sistemas de tratamiento de efluentes por lotes. Presentan diversas ventajas, como la utilización de reactivos a baja concentración, la prevención de la formación de subproductos, y la capacidad de degradar contaminantes refractarios. Sin embargo, su aplicación en sistemas de tratamiento continuo puede presentar desafíos logísticos. A pesar de ello, estas técnicas ofrecen beneficios como la reducción del olor del efluente y la eliminación de bacterias coliformes, lo que reduce la necesidad de desinfectantes adicionales, pueden clasificarse en fotoquímicas y no fotoquímicas, dependiendo de si implican el uso de radiación ultravioleta u otras formas de energía (Andrade & Francisco, 2014).

## **8.2. Tanques De Oxidación**

Los tanques de oxidación operan introduciendo aire u oxígeno en el agua residual, estimulando la actividad de microorganismos aeróbicos que utilizan el oxígeno para descomponer la materia orgánica en dióxido de carbono y agua. Existen diversos tipos de estos tanques, como los de aireación prolongada (TAP), las lagunas de oxidación y los reactores biológicos secuenciales (RBS), cada uno con

características y funciones específicas, seleccionados según variables como el flujo de agua, la concentración de contaminantes y las necesidades de tratamiento. Estos tanques son ampliamente empleados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, destacándose por su eficacia en la eliminación de materia orgánica biodegradable, la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la mejora de la calidad del agua antes de su vertido al medio ambiente. Aunque presentan ventajas como su sencillez de diseño y operación, bajo costo de construcción y manejo de grandes volúmenes de agua, podrían requerir extensas áreas de terreno y no ser tan eficientes como otras tecnologías más avanzadas en la eliminación de contaminantes específicos. A pesar de ello, siguen siendo una parte crucial de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, proporcionando una solución efectiva y económica para el tratamiento de la materia orgánica y la mejora de la calidad del agua tratada (Colacicco & Zacchei, 2020).

### **8.3. Oxidación Avanzada Con Ozono Y Peróxido**

Según (Sawyer, 2001), la oxidación avanzada con ozono y peróxido es un proceso utilizado en el tratamiento de aguas residuales y la desinfección del agua. Este método implica la adición de ozono ( $O^3$ ) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) al agua, lo que genera radical hidroxilo (OH) altamente reactivos. Estos radicales son muy efectivos para descomponer y oxidar una amplia gama de contaminantes orgánicos presentes en el agua, incluyendo compuestos recalcitrantes y difíciles de degradar mediante métodos convencionales (Terán, 2016).

La oxidación avanzada con ozono y peróxido puede aplicarse en diferentes etapas del proceso de tratamiento de aguas residuales, como la pretratamiento, el tratamiento primario o secundario, y la desinfección final, además de eliminar compuestos orgánicos, este proceso también puede ayudar a reducir el color, eliminar olores desagradables y destruir microorganismos patógenos presentes en el agua, algunas ventajas de la oxidación avanzada con ozono y peróxido incluyen su alta eficiencia en la eliminación de contaminantes, su capacidad para tratar una amplia variedad de compuestos orgánicos y su relativa facilidad de operación y control (Torres Andrade, 2014).

Sin embargo, este método también puede ser costoso debido al consumo de energía requerido para generar ozono y al costo del peróxido de hidrógeno. Además, es importante tener en cuenta que el manejo seguro de ozono y peróxido de hidrógeno requiere precauciones especiales debido a su alta reactividad y posibles riesgos para la salud y el medio ambiente, la oxidación avanzada con ozono y peróxido es una técnica eficaz para el tratamiento de aguas residuales y la desinfección del agua, que ofrece beneficios significativos en términos de eliminación de contaminantes y mejora de la calidad del agua, aunque también presenta desafíos en términos de costos y seguridad (Spiro Thomas, 2009).

#### **8.4. Biorremediación**

La autora (Brutti, 2018), expresa que, la biorremediación es un proceso natural o controlado que utiliza microorganismos, plantas o enzimas para eliminar o neutralizar contaminantes en el medio ambiente, convirtiéndolos en formas menos tóxicas o no tóxicas, es una tecnología ambientalmente amigable y sostenible que se utiliza en diversas aplicaciones, desde la limpieza de suelos contaminados hasta la depuración de aguas residuales, en este contexto se destaca que la naturaleza tiene la capacidad de restaurarse en la cual la contaminación se define como la presencia de sustancias dañinas en lugares inadecuados, ya sea por causas naturales o humanas, la biorremediación implica el uso de microorganismos para degradar sustancias contaminantes, mientras que la bio profilaxis busca prevenir la contaminación, estos procesos se clasifican según el recurso natural afectado, las herramientas y el tipo de contaminante, es tal así que los recursos más afectados son el aire, el agua y el suelo, se emplean diversas técnicas y herramientas, como la digestión anaeróbica y la simbiosis con plantas, para tratar contaminantes como hidrocarburos, pesticidas y metales pesados la diversidad de opciones se presenta en un único texto para su consideración institucional.

La biorremediación se basa en los procesos metabólicos naturales de microorganismos para descomponer contaminantes, convirtiéndolos en formas menos tóxicas. Se clasifica en in situ y ex situ, así como en aerobia y anaerobia, dependiendo de las condiciones del proceso. Los agentes biológicos incluyen bacterias, hongos, algas y enzimas, con bacterias siendo las más comunes. Además, algunas plantas pueden absorber y acumular contaminantes en sus tejidos. Se aplica

en la limpieza de suelos contaminados, depuración de aguas residuales y restauración de ecosistemas, ofreciendo una alternativa sostenible y económica a los métodos convencionales. Sin embargo, su eficacia puede verse afectada por la disponibilidad de nutrientes y microorganismos, así como por las condiciones del sitio, y puede requerir tiempo para lograr resultados completos (Beltrán-Flores, 2024).

### **8.5. Interacción Entre Tecnologías De Tratamiento**

Según el autor (Sarkar, 2019), la interacción entre tecnologías de tratamiento es fundamental para mejorar la eficiencia global del proceso de tratamiento de aguas residuales, al combinar diferentes métodos de tratamiento, como la oxidación avanzada y la biorremediación, se puede lograr una eliminación más efectiva de contaminantes y reducir el impacto ambiental, la integración de tecnologías de oxidación avanzada, como el ozono y el peróxido de hidrógeno, con la biorremediación aprovecha las fortalezas de cada método, mientras que la oxidación avanzada puede descomponer rápidamente contaminantes orgánicos e inorgánicos, la biorremediación puede proporcionar un tratamiento biológico más completo y sostenible a largo plazo, esta combinación puede maximizar la eliminación de contaminantes y minimizar la generación de subproductos no deseados.

### **8.6. Impacto Ambiental Y Sostenibilidad**

El tratamiento de aguas residuales puede tener varios impactos ambientales, incluida la contaminación del agua, la degradación de ecosistemas acuáticos, la emisión de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos naturales, algunos de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales incluyen nutrientes como nitrógeno y fósforo, compuestos orgánicos, metales pesados y patógenos, los cuales pueden causar daños ambientales significativos si no se tratan adecuadamente, en la cual, algunos de los beneficios ambientales del tratamiento de aguas residuales puede reducir la carga contaminante descargada en cuerpos de agua receptores, protegiendo la salud de los ecosistemas acuáticos y mejorando la calidad del agua, además, el tratamiento de aguas residuales puede ayudar a prevenir la propagación de enfermedades transmitidas por el agua y proteger la

salud pública al eliminar patógenos y contaminantes peligrosos (Arregui Gallegos, 2006).

La sostenibilidad en el tratamiento de aguas residuales implica la adopción de prácticas y tecnologías que equilibren la protección del medio ambiente, la viabilidad económica y la equidad social, esto puede incluir el uso de tecnologías de tratamiento más eficientes desde el punto de vista energético y la implementación de prácticas de gestión de recursos que minimicen el desperdicio y promuevan la reutilización y el reciclaje. La evaluación del impacto ambiental y económico de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales es fundamental para determinar su viabilidad y beneficios potenciales, esto implica, la comparación de diferentes opciones de tratamiento en términos de eficiencia de remoción de contaminantes, costos de capital y operativos, consumo de recursos y generación de residuos, además, la evaluación debe considerar los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida completo de las tecnologías, desde la fabricación y la construcción hasta la operación y el desmantelamiento (González, 2021).

### **8.7. Origen Y Características De Las Aguas Residuales**

**Definición y Clasificación:** Las aguas residuales son aquellas que han sido afectadas negativamente por la actividad humana y contienen una mezcla de residuos sólidos, líquidos y gases. Se clasifican en tres grandes categorías: domésticas, industriales y agrícolas. Las aguas residuales domésticas provienen de actividades humanas como el lavado, la cocina y la eliminación de excretas. Las industriales contienen una gran variedad de contaminantes específicos de cada industria, como metales pesados, productos químicos orgánicos e inorgánicos. Las agrícolas pueden contener pesticidas, fertilizantes y materia orgánica en descomposición (Torres Andrade, 2014).

**Composición Química y Física:** La composición de las aguas residuales incluye sólidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes (nitrógeno y fósforo), patógenos, metales pesados y una amplia variedad de productos químicos. Las características físicas más relevantes son el color, el olor, la temperatura y la turbidez. Las características químicas incluyen el pH, la demanda química de oxígeno (DQO), la

demanda biológica de oxígeno (DBO) y la presencia de compuestos específicos como aceites, grasas y detergentes (Spiro Thomas, 2009).

### **8.8. Carga Contaminante Y Habitantes Equivalentes**

**Concepto de Habitante Equivalente (HE):** El habitante equivalente es una unidad de medida utilizada para expresar la carga contaminante generada por una población. Un habitante equivalente representa la carga orgánica producida por una persona por día, que generalmente se mide en términos de DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno en 5 días). Esta medida permite comparar y dimensionar la capacidad de tratamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de diferentes tamaños y características

**Aplicación en Diseño de Plantas:** El cálculo de la carga contaminante es esencial para dimensionar adecuadamente los componentes de una planta de tratamiento. Para ello, se multiplican los habitantes equivalentes por los coeficientes de carga orgánica y de caudal de agua residual. Esto permite establecer el tamaño de los tanques, la capacidad de los sistemas de aireación y la cantidad de lodos generados que deben ser gestionados

### **8.9. Esquema De Depuración**

**Objetivos de la Depuración:** Los objetivos primordiales de la depuración de aguas residuales son proteger la salud pública y preservar la calidad de los ecosistemas acuáticos. Esto se logra mediante la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, patógenos y nutrientes que pueden causar eutrofización (Lozano-Rivas, 2012).

**Fases del Tratamiento:** El esquema de depuración se compone generalmente de las siguientes fases:

**Tratamiento Secundario:** Utiliza procesos biológicos, como lodos activados o filtros biológicos, para degradar la materia orgánica disuelta. (Lozano-Rivas, 2012).

### **8.10. Consideraciones Preliminares Y Criterios De Selección**

**Caracterización del Agua Residual:** La correcta caracterización del agua residual es fundamental para seleccionar el tratamiento adecuado. Esto incluye la

determinación de parámetros como DBO, DQO, sólidos suspendidos, nutrientes, metales pesados y otros contaminantes específicos (Lozano-Rivas, 2012).

**Criterios de Selección:** La selección de procesos de tratamiento debe basarse en criterios como la eficiencia en la eliminación de contaminantes, costos de implementación y operación, requisitos de espacio, compatibilidad con otras tecnologías y el impacto ambiental. Además, se debe considerar la adaptabilidad del sistema a variaciones en el caudal y la carga contaminante (Lozano-Rivas, 2012).

### **8.11. Caudales De Diseño Y Canal De Entrada**

**Estimación de Caudales:** El diseño de una planta de tratamiento debe basarse en estimaciones precisas de caudales, considerando tanto el caudal medio diario como los caudales pico. Esto implica realizar mediciones de caudal en diferentes épocas del año para obtener datos representativos (Lozano-Rivas, 2012).

**Diseño del Canal de Entrada:** El canal de entrada debe ser diseñado para manejar el caudal máximo previsto, utilizando la fórmula de Manning para asegurar un flujo adecuado. Además, debe estar equipado con rejillas o tamices para eliminar sólidos grandes que puedan obstruir el sistema (Lozano-Rivas, 2012).

### **Fundamentos De La Decantación Primaria**

**Proceso de Decantación:** La decantación primaria es un proceso físico en el que las partículas suspendidas se sedimentan por gravedad en un tanque de decantación. Este proceso reduce significativamente la carga de sólidos y materia orgánica antes del tratamiento biológico (Lozano-Rivas, 2012).

**Diseño de Tanques de Decantación:** Los tanques de decantación deben estar diseñados para proporcionar un tiempo de retención adecuado, generalmente entre 1.5 y 2.5 horas, para permitir la sedimentación eficiente de los sólidos. Además, deben incluir mecanismos para la recolección y eliminación de los lodos sedimentados y de la espuma superficial (Lozano-Rivas, 2012).

### **8.12. Teoría De La Aireación**

**Principios de aireación:** La aireación es esencial en el tratamiento biológico de aguas residuales, proporcionando oxígeno necesario para la actividad de los microorganismos. Los sistemas de aireación pueden ser superficiales o difusores, y

deben ser diseñados para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto en el reactor biológico (Lozano-Rivas, 2012).

**Tipos de sistemas de aireación:** Existen varios tipos de sistemas de aireación, incluyendo:

**Aireadores superficiales:** Que mezclan el agua y el aire mediante paletas o rotores.

**Difusores de aire:** Que introducen aire a través de tubos o placas perforadas, creando burbujas finas para una mejor transferencia de oxígeno. El diseño del sistema de aireación debe considerar la demanda de oxígeno, la eficiencia energética y la facilidad de mantenimiento (Lozano-Rivas, 2012).

### **8.13. Tecnologías de membranas en el tratamiento de aguas residuales.**

Las tecnologías de membranas, como la ósmosis inversa, la ultrafiltración y la nano filtración, son métodos avanzados que se utilizan para la separación y purificación de contaminantes en aguas residuales. Estas tecnologías permiten la eliminación de partículas finas, microorganismos, sólidos disueltos y otros contaminantes que son difíciles de tratar mediante métodos convencionales. Las membranas actúan como una barrera selectiva, permitiendo el paso del agua mientras retienen los contaminantes. Son especialmente útiles en aplicaciones donde se requiere un alto grado de purificación, como en la reutilización del agua o en la producción de agua potable a partir de aguas residuales tratadas. Sin embargo, su implementación puede ser costosa y requiere un mantenimiento riguroso para evitar el ensuciamiento de las membranas (De la Torre et al., 2010).

### **8.14. Biofiltración en el tratamiento de aguas residuales.**

La biofiltración es un proceso biológico en el que las aguas residuales se hacen pasar a través de un medio filtrante, generalmente compuesto de materiales como arena, carbón activado o piedra triturada, sobre el cual crecen microorganismos. Estos microorganismos forman una biopelícula que degrada los contaminantes presentes en el agua. La biofiltración es efectiva para la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como de compuestos orgánicos. Este proceso se utiliza tanto en tratamientos primarios como secundarios y puede ser una solución

eficiente y económica para la depuración de aguas residuales en instalaciones de pequeña y mediana escala (Arango Ruiz, 2004).

### **8.15. Tratamiento de Aguas Residuales con Reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)**

El reactor UASB es una tecnología anaerobia utilizada en el tratamiento de aguas residuales que se basa en la formación de un manto de lodo a través del cual el agua residual fluye hacia arriba. En este proceso, los microorganismos anaerobios degradan la materia orgánica, generando biogás como subproducto, el cual puede ser capturado y utilizado como fuente de energía. Los reactores UASB son particularmente efectivos para el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica y son conocidos por su eficiencia en la reducción de DBO y DQO. Además, tienen un bajo requerimiento energético y pueden ser una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales o industriales (Moreno et al., 2022).

### **8.16. Filtros percoladores y tratamientos secundarios con filtros biológicos**

Según (Lozano-Rivas, 2012) la implementación de filtros percoladores y tratamientos secundarios con filtros biológicos es crucial para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales. Los filtros percoladores son sistemas que utilizan medios porosos, como piedra triturada o plástico, a través de los cuales se hace pasar el agua residual. Los microorganismos que se adhieren al medio degradan la materia orgánica presente en el agua, reduciendo así la DBO y otros contaminantes. Estos sistemas son efectivos para el tratamiento secundario y se pueden combinar con otros procesos biológicos para optimizar los resultados.

Los tratamientos secundarios con filtros biológicos, como los lechos de cultivo y los reactores de biofilm, ofrecen una mayor capacidad de eliminación de contaminantes. Estos sistemas utilizan medios de soporte para el crecimiento de biofilms, que son colonias de microorganismos que descomponen los contaminantes orgánicos e inorgánicos. La combinación de filtros percoladores y filtros biológicos en el tratamiento secundario puede aumentar significativamente la eficiencia del sistema, permitiendo una mayor capacidad de tratamiento y una mejora en la calidad del efluente final (Lozano-Rivas, 2012).

## 8. MARCO LEGAL

- **Acuerdo Ministerial 097A (2015):**

**Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 097A: Establece directrices y estándares para el tratamiento y vertido de aguas residuales. Registro Oficial No. 483.**

Este acuerdo establece directrices y estándares específicos para el tratamiento y vertido de aguas residuales en Ecuador. Es obligatorio que las plantas de tratamiento cumplan con parámetros de calidad del agua antes de su descarga en cuerpos receptores. Los estándares incluyen la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST), y la eliminación de contaminantes como metales pesados y compuestos tóxicos. El cumplimiento de esta normativa es esencial para proteger los recursos hídricos y garantizar la salud pública y ambiental, promoviendo la sostenibilidad en el tratamiento de aguas residuales.

- **Acuerdo Ministerial 061 (2015):**

**Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). Acuerdo Ministerial 061: Regula la calidad del agua para consumo humano. Registro Oficial No. 465.**

Este acuerdo establece estándares de calidad del agua para consumo humano, abarcando parámetros microbiológicos, físicos, químicos, y radiactivos. Específicamente, regula la presencia de patógenos y contaminantes peligrosos en el agua, garantizando que cumpla con los niveles de seguridad establecidos para su uso en consumo humano y en procesos industriales que involucren contacto directo con el agua potable.

- **Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 1108:2014:**

**Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2014). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108: Sistemas de tratamiento de aguas residuales.**

La NTE INEN 1108 establece los requisitos mínimos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de

aguas residuales en Ecuador. Incluye directrices sobre la gestión de lodos, la remoción de contaminantes, y la eficiencia de tratamiento, asegurando que los sistemas cumplan con los estándares ambientales nacionales.

- **Ley de Gestión Ambiental (Ley No. 37):**

**Congreso Nacional del Ecuador. (1999). Ley de Gestión Ambiental, Ley No. 37. Registro Oficial Suplemento 245.**

Esta ley es la principal normativa que regula la gestión ambiental en Ecuador, incluyendo la protección y conservación de recursos hídricos. Establece que todas las actividades productivas deben minimizar sus impactos sobre el medio ambiente, y dispone que el tratamiento de aguas residuales debe cumplir con estándares que eviten la contaminación de fuentes de agua.

- **Acuerdo Ministerial 056 (2020):**

**Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador. (2020). Acuerdo Ministerial 056: Control y vigilancia de la calidad del agua en cuerpos receptores. Registro Oficial No. 171.**

Este acuerdo establece los parámetros y procedimientos para la vigilancia y control de la calidad del agua en cuerpos receptores, como ríos y lagos. Define los límites permisibles de contaminantes y exige la implementación de tecnologías avanzadas para asegurar que las descargas de aguas residuales no afecten la calidad del agua ni la salud de los ecosistemas acuáticos.

## 9. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.

¿EL TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN ES EFICIENTE EN CUANTO AL TRATAMIENTO DE AGUA DEL RIO NAMBILLO?

La investigación se realizó para abordar la crítica problemática de la calidad del agua en el río Nambillo, con el objetivo de diseñar e implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales innovador y sostenible. Este esfuerzo es esencial

debido a la importancia ecológica del área y su condición como destino turístico, donde la preservación del entorno natural es fundamental.

Desde el punto de vista teórico, el proyecto aportó conocimientos sobre la eficacia de la intervención con peróxido de hidrógeno y ozono en el tratamiento de aguas residuales en entornos fluviales. Estos conocimientos contribuyen a la literatura científica y proporcionarán una base sólida para futuras investigaciones en el campo de la tecnología de tratamiento de aguas residuales.

Desde el punto de vista práctico, el proyecto ofreció una solución concreta y replicable para mejorar la calidad del agua en áreas similares. Al establecer un precedente para prácticas sostenibles, se proveerá a las comunidades afectadas por la contaminación del agua con un método efectivo para gestionar sus recursos hídricos.

El proyecto benefició directamente a la comunidad local de la parroquia Mindo, proporcionando agua de mejor calidad para consumo y reduciendo los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua. Además, los turistas que visitan la región se beneficiarán de un entorno más saludable y atractivo, promoviendo un turismo sostenible.

La investigación sobre la eficiencia del tanque de oxidación para el tratamiento sostenible de aguas residuales en el río Nambillo, utilizando tecnologías avanzadas de oxidación con ozono y peróxido y biorremediación, ha demostrado ser altamente eficaz. Los resultados muestran mejoras significativas en parámetros clave como turbidez, pH, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos disueltos totales, salinidad y temperatura del agua, con eficiencias que oscilan entre el 12.65% y el 94.76%. Estos resultados no solo confirman la efectividad del sistema propuesto en el tratamiento del agua, sino que también proporcionan una solución replicable para otras áreas con problemas similares, beneficiando tanto a la comunidad local como al turismo. El proyecto contribuye al conocimiento científico y ofrece una solución práctica que alinea la preservación ambiental con la sostenibilidad, mejorando la calidad del agua, reduciendo riesgos para la salud y promoviendo un entorno más saludable y atractivo para los visitantes.

El impacto del proyecto se manifiesta en la mejora tangible de la calidad del agua en el río Nambillo, lo que conlleva consecuencias positivas para la biodiversidad

local, la salud pública y la economía turística. Al abordar un problema ambiental crítico y alinearse con estándares internacionales de conservación y sostenibilidad, la relevancia del proyecto se destaca significativamente.

La utilidad práctica del proyecto se refleja en la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales efectivo y adaptable a otras áreas con desafíos similares. Además, proporcionará a la comunidad local una solución práctica para mantener el equilibrio entre el desarrollo y la conservación.

## 10. METODOLOGÍA

La metodología planteada se fundamenta en un enfoque cualitativo basado en la metodología de Diseño de Reactores Biológicos para Aguas Residuales, que es crucial para asegurar la eficiencia en el tratamiento biológico mediante el uso de tanques de oxidación y sistemas de aireación (Lozano-Rivas, 2012), como se describen en el diseño y operación de sistemas de aireación superficial y turbinas sumergidas que engloba la recolección, procesamiento e interpretación de los datos obtenidos durante la experiencia de aprendizaje práctico e indagación realizada. La metodología, basada en un Enfoque de Tratamiento Integrado o Metodología de Tratamiento Multietapa, se desglosa en métodos, técnicas e instrumentos utilizados a lo largo del proyecto para asegurar una comprensión integral de la calidad del agua en el río Nambillo y la eficiencia del sistema de tratamiento propuesto.

### 10.1. Caracterización del río Nambillo:

- Recolección de datos recientes sobre calidad del agua.
- Muestreo de agua en distintos puntos del río.
- Análisis de laboratorio para parámetros físicos (turbidez, sólidos suspendidos) y químicos (pH, DQO, etc.).

### 10.2. Caracterización del agua residual:

Selección de puntos estratégicos a lo largo del río y zonas de descarga.

Medición de parámetros físicos, químicos y biológicos.

- Muestreos mensuales para capturar variaciones estacionales.

**10.2.1. Diseño del sistema de tratamiento:**

- **Sistema de Filtros Percoladores:** Tratamiento biológico mediante paso de agua a través de un lecho de material filtrante.
- **Oxidación Avanzada con O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:** Combinación de ozono y peróxido de hidrógeno para generar radicales hidroxilos.
- **Biorremediación:** Utilización de microorganismos vivos para eliminar contaminantes.

**10.2.2. Interacción entre tecnologías y evaluación de eficiencia y control de calidad:**

- Monitoreo continuo de parámetros clave.
- Comparación de datos de entrada y salida.
- Cumplimiento de normativas ambientales.

**Seguridad y Mantenimiento:**

- Capacitación del personal.
- Mantenimiento preventivo de los equipos.

**10.3. Técnicas.****10.3.1. Muestreo:**

- Realización de muestreos representativos en puntos críticos del río Nambillo.
- Aplicación de técnicas de muestreo sistemáticas para garantizar la representatividad de las muestras, considerando la variabilidad temporal y espacial de los contaminantes.

**10.3.2. Análisis de Laboratorio:**

- Métodos estándar para medición de pH, DQO, etc.

**Procesamiento y Análisis de Datos:**

- Aplicación de métodos estadísticos y herramientas de análisis de datos pertinentes.
- Evaluación de resultados para detectar patrones, tendencias y correlaciones significativas.

### **10.3.3. Diseño del Sistema de Tratamiento:**

- Diseño de cargas hidráulicas y alturas del lecho para los filtros percoladores.
- Dosificación de reactivos para la oxidación avanzada.
- Control de condiciones ambientales para la biorremediación.

### **10.3.4. Monitoreo y Evaluación:**

- Instalación de sensores y equipos de monitoreo en línea para parámetros clave como DQO, pH y oxígeno disuelto.
- Análisis comparativo de datos de entrada y salida para evaluar la eficiencia del tratamiento.

## **10.4. Instrumentos.**

### **10.4.1. Equipos de Muestreo:**

- Botellas de muestreo estériles para recolección de agua.
- Dispositivos de muestreo automático para garantizar la representatividad temporal.

### **10.4.2. Instrumentos de Análisis de Laboratorio:**

- Espectrofotómetros para análisis de turbidez y DQO.
- Equipos de cromatografía para detección de metales pesados.
- Equipo multiparámetros

### **10.4.3. Generadores de Ozono y Dosificadores de Peróxido:**

- Generadores de ozono diseñados para dosificar de acuerdo a la carga de DQO.
- Dosificadores automáticos para peróxido de hidrógeno.

### **10.4.4. Sistemas de Aireación:**

- Difusores de aire para mantener niveles óptimos de oxígeno disuelto en el agua.

### **10.4.5. Sensores y Equipos de Monitoreo:**

- Sensores en línea para monitoreo continuo de parámetros clave.
- Sistemas de adquisición de datos para registrar y analizar la información en tiempo real.

#### 10.4.6. Equipos de Seguridad:

- Equipos de protección personal para el manejo seguro de ozono y peróxido de hidrógeno.
- Protocolos de respuesta a emergencias.

#### 10.5. Fase de laboratorio.

##### 10.5.1. Sólidos totales

- Crisoles (sacar humedad hasta llegar a peso constante) 105°C
- Vierte 100 ml muestra homogenizada la muestra
- Llevar a la estufa hasta la evaporación total
- Luego de la evaporación dejar en la estufa 105°C durante 4 h

#### Cálculos

$$ST = \frac{A - B}{ml\ muestra} \times 1000$$

#### Donde:

A= peso residuo seco + cápsula a 105°C (mg)

B= peso cápsula a 105°

##### 10.5.2. Sólidos suspendidos

- Secar el filtro a 105°C en estufa hasta llegar a peso constante.
- Colocamos el papel filtro en el equipo de filtración
- Colocamos 100 ml de la muestra de agua homogeneizada
- Llevar el papel filtro en una cápsula a la estufa a 105°C por 2h
- Pesamos el papel filtro

#### Cálculos:

$$SS = \frac{C - D}{ml\ muestra} \times 1000$$

#### Donde:

C= peso de la cápsula + filtro + residuos a 105°C

D= peso de la cápsula + filtro 105°C

### 10.5.3. Sólidos disueltos

- Utilizamos el agua filtrada de los SS
- Evaporamos en la estufa a 105°C

**Cálculos:**

$$SD = \frac{E - F}{ml\ muestra} \times 1000$$

**Donde:**

E= peso residuo seco del filtro + cápsula a 105°

F= peso cápsula a 105°C

### 10.5.4. DQO

- Abrir el tubo del test, mantenerlo inclinado, agregar 2 ml de muestra de agua sin mezclar.
- Tapar el tubo del test, sujetar el tubo por la parte del tapón y ubicarlo en la gradilla de seguridad.
- Agitar el tubo y colocar en el calefactor durante 2h a 150°C.
- Después de las 2h esperar 10 min y volver a agitar los tubos aún con la muestra caliente y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Limpiar el exterior del tubo para colocarlo en el espectrofotómetro y medir.

### 10.5.5. Turbidez

- Agregar 6 ml de muestra en los viales.
- Limpiar y medir la turbidez en el espectrofotómetro.

### Multiparámetros

- Agregamos 400 ml de muestra de agua en un recipiente previamente lavado con agua destilada.
- Usamos el Multiparámetros
- Registramos los datos y repetimos el proceso.

### 10.5.6. Oxidación Avanzada con O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:

- **Proceso Químico:**

Combinación de ozono (O<sub>3</sub>) y peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) para generar radical hidroxilo (OH), que son potentes oxidantes capaces de descomponer contaminantes orgánicos complejos.

- **Dosificación de Reactivos:**

**Ozono:** Generadores de ozono diseñados para dosificar de acuerdo a la carga de DQO.

**Peróxido de Hidrógeno:** Añadido en proporciones estequiométricas para maximizar la generación de radicales hidroxilos.

**Tiempo de Contacto:** Determinado en función de la concentración de contaminantes y la eficiencia deseada.

**Control de Proceso:** Monitoreo continuo de parámetros clave como DQO, pH y oxígeno disuelto.

### 10.5.7. Biorremediación:

**Proceso Biológico:** Utilización de microorganismos vivos, como bacterias y hongos, para la eliminación de contaminantes específicos del agua.

**Condiciones Óptimas:**

**Oxígeno Disuelto:** Mantener niveles adecuados para procesos aeróbicos.

**Nutrientes:** Suministro de nutrientes esenciales (nitrógeno y fósforo) para el crecimiento microbiano.

**Control de Temperatura y pH:** Ajuste de parámetros ambientales para optimizar la actividad biológica.

## 10.6. Prototipo

Para el prototipo se basó en el libro de Lozano-Rivas obteniendo el prototipo a escala con los siguientes datos:

**Tabla 3:** Cálculos del prototipo del tanque de oxidación.

Elemento	Carga baja	100L	Prototipo 16L
medio filtrante	piedra	piedra	piedra
tamaño cm	2,5 a 13	7.75	1.24

<b>superficie específica</b>	60 a 70	65	10.4
<b>constante n del material</b>	1,5 a 3,5	2.5	0.4
<b>constante k</b>	Agua residual doméstica sedimentada = 2,21 (m*d)-0,5 Agua residual industrial = 0,25 a 2,51 (m*d)-0,5		
<b>Espacio vacío (%)</b>	40 a 60	50	8
<b>Peso específico (kg/m3 )</b>	800 a 1450	1125	180
<b>Carga hidráulica (m3 /m2*h)</b>	0,05 a 0,15	0.1	0.016
<b>Carga orgánica (kg DBO5/m3*d)</b>	0,1 a 0,4	0.25	0.04
<b>Carga orgánica para nitrificación (kg DBO5/m3*d)</b>	0,1 a 0,16	0.13	0.0208
<b>Profundidad (m)</b>	2,0 a 2,5	2.25	0.36
<b>Relación de recirculación</b>	0	0	0
<b>Arrastre de sólidos</b>	Intermitente	Intermitente	Intermitente
<b>Eficiencia de remoción de DBO5 (%)</b>	80 a 85	82.5	13.2
<b>Moscas en el filtro</b>	Muchas	Muchas	Muchas
<b>caudal m3/s</b>	3.595	3.595	0.5752

En la tabla 3 se presentan los cálculos del prototipo del tanque de oxidación basados en los datos obtenidos.

Los filtros percoladores son sistemas en los que las aguas residuales se distribuyen sobre un medio de soporte (en este caso, piedra) que alberga una biopelícula de

microorganismos. Estos microorganismos son responsables de descomponer los contaminantes orgánicos presentes en el agua. En un filtro percolador de carga baja, el flujo de aguas residuales es relativamente lento, lo que permite un contacto prolongado entre el agua y los microorganismos, asegurando una mayor eficiencia en la degradación de los contaminantes orgánicos.

Para el funcionamiento de nuestro tanque, se han considerado los siguientes procesos:

**Carga del Efluente:** El agua residual ingresa al filtro percolador y se distribuye sobre el medio de soporte.

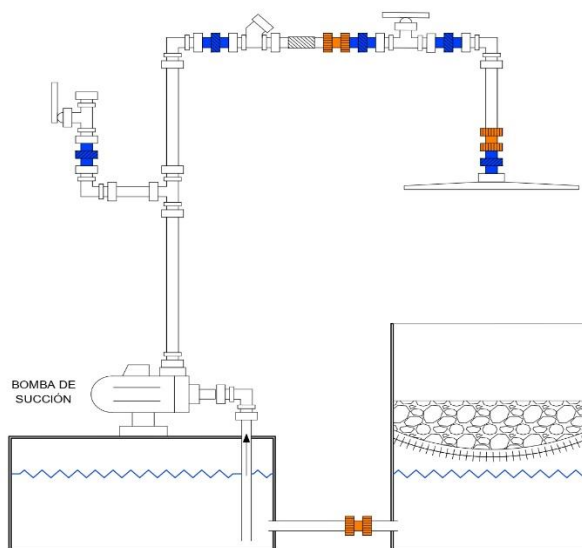
**Percolación y Tratamiento:** A medida que el agua percola a través del medio de soporte, los microorganismos en la biopelícula descomponen los contaminantes orgánicos, produciendo un efluente con menor carga orgánica.

**Recirculación:** En algunos sistemas, parte del efluente tratado se recircula de vuelta al filtro para mejorar la eficiencia del tratamiento y asegurar una carga uniforme de contaminantes.

El prototipo se ha fabricado tomando como referencia un filtro con capacidad para 100 litros de agua, adaptándolo a una escala que permite el uso de 16 litros. Optamos por este tipo de filtro debido a que es adecuado para aplicaciones que requieren un tratamiento eficiente y de bajo costo para aguas residuales con una carga orgánica moderada.

## Modelo del prototipo

**Figura 1:** Modelo 2D del prototipo creado en AutoCAD.



Se presentó el prototipo en 2D, de acuerdo a los cálculos obtenidos en la tabla 3. Este filtro percolador se clasifica como de carga baja, ya que el río Nambillo, al estar relativamente poco intervenido por actividades humanas, no requiere el uso de grandes cantidades de descontaminantes.

## 11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 11.1. Zona de estudio

La investigación se llevó a cabo levantando información y recolectando muestras en el tramo del caudal del río Nambillo en el cual se tomó como referencia 12 puntos en su trayecto.

**Tabla 4:** Puntos de muestreo.

PUNTOS	UTMX	UTMY
Punto 1	747393.3	9991842
Punto 2	746730.5	9992101
Punto 3	746669.5	9992250
Punto 4	746591.5	9992677
Punto 5	746337.1	9992828
Punto 6	746052.1	9993241
Punto 7	745804.3	9993666
Punto 8	745723.8	9993804
Punto 9	745642.6	9994024
Punto 10	745723.7	9994257
Punto 11	745723.7	9994404
Punto 12	745804.9	9994656

**Figura 2:** Mapa de los puntos de muestreo

En la figura 2, se destaca la ubicación geoespacial del río Nambillo, un recurso hídrico que ha sido el foco de nuestro estudio. Hemos identificado y marcado doce puntos estratégicos a lo largo de su curso para llevar a cabo un muestreo de agua.

En cada uno de estos puntos, se han recolectado muestras de agua en dos ocasiones distintas. Este procedimiento de muestreo repetitivo se realiza para obtener una visión más precisa y confiable de las condiciones del agua, ya que los parámetros de calidad del agua pueden variar con el tiempo debido a factores como las fluctuaciones estacionales, los eventos de precipitación, los ciclos diurnos y nocturnos, y las actividades antropogénicas. Por lo tanto, en total, hemos recolectado 24 muestras de agua del río Nambillo. Cada muestra será sometida a análisis de laboratorio para evaluar diversos indicadores de calidad del agua, como la temperatura, el pH, la conductividad eléctrica, la turbidez, el oxígeno disuelto, los sólidos totales disueltos, los nutrientes (nitrógeno y fósforo), los metales pesados, y los patógenos microbianos, entre otros.

## 11.2. Sólidos disueltos

**Tabla 5:** Cálculos de sólidos totales.

N° de muestra	P inicial Crisol (g)	P inicial	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso constante	Fórmula (g/L)	mg/L
1	45.7163	84.4364	48.8057	45.7197	45.7189	45.7189	45.7189	45.7189	0.065	65000
2	44.5530	84.2505	48.1540	44.5561	44.5555	44.5555	44.5555	44.5555	0.0625	62500
3	45.5270	84.6445	45.5306	45.5286	45.5292	45.5289	45.5286	45.5286	0.04	40000
4	46.5633	85.8480	46.5675	46.5656	46.5664	46.5652	46.5648	46.5648	0.0375	37500
5	45.8575	85.7390	45.8622	45.8607	45.8603	45.8603	45.8603	45.8603	0.07	70000
6	44.7486	83.7379	44.7517	44.7506	44.7506	44.7506	44.7506	44.7506	0.05	50000
7	44.7108	83.6401	44.7145	44.7137	44.7117	44.7117	44.7117	44.7117	0.0225	22500
8	43.8086	82.6831	43.8127	43.8116	43.8098	43.8097	43.8097	43.8097	0.0275	27500
9	43.6836	82.5677	43.6872	43.6859	43.7138	43.7138	43.7138	43.7138	0.755	755000
10	59.7266	99.7775	59.7321	59.7313	59.7306	59.7288	59.7288	59.7288	0.055	55000
11	60.9255	100.7918	60.9305	60.9292	60.9291	60.9291	60.9291	60.9291	0.09	90000
12	60.9434	100.4467	60.9485	60.9481	60.9481	60.9481	60.9481	60.9481	0.1175	117500
1	45.7184	85.2773	45.7234	45.7193	45.7193	45.7193	45.7193	45.7193	0.0225	22500
2	44.5553	83.3817	44.5598	44.5565	44.5565	44.5565	44.5565	44.5565	0.03	30000

<b>3</b>	45.5293	84.6139	45.5341	45.5328	45.5317	45.5310	45.5310	45.5310	0.0425	42500
<b>4</b>	46.5666	86.2938	46.5698	46.5694	46.5689	46.5689	46.5689	46.5689	0.0575	57500
<b>5</b>	45.8597	84.7462	45.8637	45.8623	45.8623	45.8623	45.8623	45.8623	0.065	65000
<b>6</b>	44.7511	84.7893	44.7546	44.7538	44.7526	44.7520	44.7520	44.7520	0.0225	22500
<b>7</b>	44.7129	84.0730	44.7162	44.7154	44.7149	44.7143	44.7143	44.7143	0.035	35000
<b>8</b>	43.8117	83.1975	43.8142	43.8130	43.8130	43.8130	43.8130	43.8130	0.0325	32500
<b>9</b>	43.6863	83.0626	43.6894	43.6877	43.6877	43.6877	43.6877	43.6877	0.035	35000
<b>10</b>	59.7263	98.7951	59.7303	59.7283	59.7283	59.7283	59.7283	59.7283	0.05	50000
<b>11</b>	60.9283	99.8971	60.9318	60.9300	60.9298	60.9298	60.9298	60.9298	0.0375	37500
<b>12</b>	60.9447	101.2380	60.9483	60.9466	60.9466	60.9466	60.9466	60.9466	0.0475	47500
<b>Promedio</b>										77916.666

En la Tabla 5 se observa los resultados al introducir 40 ml del agua de la muestra en cada crisol, se observó el siguiente resultado tras 4 horas, seguido de un proceso de secado en estufa durante 20 minutos a 105 °C. Se realizaron 5 pesajes para asegurar la obtención de un peso constante, tal como se presenta en la tabla.

Conforme a las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS), el límite máximo recomendado para los sólidos totales en agua es de 600 mg/L. Los resultados obtenidos indican que los sólidos totales presentes en el agua del río Nambillo exceden este límite máximo recomendado.

### 11.3.Sólidos suspendidos

Los sólidos suspendidos incluyen las partículas que no se disuelven y que pueden ser filtradas. Este parámetro es especialmente relevante en el análisis de aguas residuales, donde la cantidad de sólidos suspendidos puede indicar la eficiencia del tratamiento. Para la tabla de sólidos suspendidos tabulamos los siguientes resultados:

**Tabla 6:** Cálculos de sólidos suspendidos.

N° muestra	de P constante Papel Filtro (g)	Papel + muestra (g)	Fórmula (g/L)	mg/L
1	0.1228	0.1249	0.0525	52500
2	0.1234	0.1244	0.025	25000
3	0.1234	0.1243	0.0225	22500
4	0.1217	0.1230	0.0325	32500
5	0.1200	0.1218	0.045	45000
6	0.1225	0.1240	0.0375	37500
7	0.1246	0.1265	0.0475	47500
8	0.1260	0.1274	0.035	35000
9	0.1213	0.1225	0.03	30000
10	0.1273	0.1290	0.0425	42500
11	0.1234	0.1254	0.05	50000
12	0.1257	0.1270	0.0325	32500
1	0.1304	0.1338	0.085	85000
2	0.1267	0.1301	0.085	85000
3	0.1244	0.1274	0.075	75000
4	0.1245	0.1279	0.085	85000
5	0.1243	0.1277	0.085	85000

<b>6</b>	0.1278	0.1313	0.0875	87500
<b>7</b>	0.1258	0.1287	0.0725	72500
<b>8</b>	0.1289	0.1323	0.085	85000
<b>9</b>	0.1300	0.1336	0.09	90000
<b>10</b>	0.1285	0.1323	0.095	95000
<b>11</b>	0.1277	0.1311	0.085	85000
<b>12</b>	0.1306	0.1341	0.0875	87500
<b>Promedio</b>				61250

En la tabla 6, observamos un valor de 61250 mg/L es considerablemente elevado, indicando que el agua presenta una alta turbidez y una gran carga de partículas sólidas. En condiciones normales, los niveles típicos de sólidos suspendidos en cuerpos de agua dulce son mucho más bajos. Por ejemplo, las aguas superficiales usualmente exhiben concentraciones de sólidos suspendidos que oscilan entre 1 y 100 mg/L bajo condiciones naturales.

#### 11.4. Sólidos disueltos

Los sólidos disueltos representan las sustancias que permanecen en solución y que son lo suficientemente pequeñas para pasar a través de un filtro de 0.45 micrómetros. Este valor es crucial para entender la calidad del agua potable. A continuación, analizamos los datos obtenidos en sólidos disueltos:

**Tabla 7:** Cálculos de sólidos disueltos.

N° muestra	de P inicial Crisol (g)	Peso crisol con la muestra de ss	la Fórmula (g/L)	mg/L
1	45.7163	45.7212	0.1225	122500
2	44.5530	44.5580	0.125	125000
3	45.5270	45.5331	0.1525	152500
4	46.5633	46.5697	0.16	160000
5	45.8575	45.8626	0.1275	127500
6	44.7486	44.7543	0.1425	142500
7	44.7108	44.7164	0.14	140000
8	43.8086	43.8143	0.1425	142500
9	43.6836	43.6898	0.155	155000
10	59.7266	59.7306	0.1	100000
11	60.9255	60.9323	0.17	170000
12	60.9434	60.9496	0.155	155000
1	45.7184	45.7242	0.145	145000
2	44.5553	44.5608	0.1375	137500
3	45.5293	45.5360	0.1675	167500
4	46.5666	46.5722	0.14	140000
5	45.8597	45.8658	0.1525	152500
6	44.7511	44.7570	0.1475	147500
7	44.7129	44.7188	0.1475	147500
8	43.8117	43.8172	0.1375	137500
9	43.6863	43.6924	0.1525	152500
10	59.7263	59.7337	0.185	185000
11	60.9283	60.9355	0.18	180000

<b>12</b>	60.9447	60.9522	0.1875	187500
<b>Promedio</b>				148854.167

En la tabla 7 se presentan los resultados de las mediciones de sólidos disueltos en el río Nambillo. Estos valores, expresados en miligramos por litro (mg/L), indican la concentración total de sólidos disueltos en el agua. Los sólidos disueltos (SD) incluyen la suma de minerales, metales y sales disueltas en el agua, siendo clasificados como un contaminante secundario que indica la calidad del agua. En el tramo estratégico evaluado del río Nambillo, se determinó un valor promedio de 148,854.17 mg de SD por litro de agua.

### 11.5.DQO

Al pasar las muestras de agua con el reactivo para DQO se observan los siguientes resultados.

**Tabla 8:** Datos de sólidos DQO.

<b>N° de muestra</b>	<b>Demanda química de oxígeno (DQO 160)(mg/L O2)</b>
1	87
2	59
3	56
4	55
5	28
6	29
7	47
8	49
9	57
10	44
11	55
12	19
1	
2	28
3	
4	33

5	29
6	28
7	32
8	28
9	17
10	22
11	30
12	21
<b>Promedio</b>	<b>38.77</b>

En la tabla 8 los resultados del procedimiento para el cálculo de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Inicialmente, se abre el tubo de prueba, se mantiene inclinado y se agregan 2 ml de la muestra de agua sin mezclar. Luego, se tapa el tubo de prueba, se sujeta por la parte del tapón y se coloca en la gradilla de seguridad. Se agita el tubo y se coloca en el calefactor durante 2 horas a 150 °C. Después de las 2 horas, se espera 10 minutos y se agitan nuevamente los tubos, aún con la muestra caliente, dejándolos enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se limpia el exterior del tubo antes de colocarlo en el espectrofotómetro para la medición.

Dado que la DQO es una medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente toda la materia orgánica en el agua (Interagua, 2020), un valor promedio de 38,772 mg/L en el río Nambillo se considera bajo, lo que indica una baja presencia de materia orgánica. Esta materia orgánica puede ser descontaminada mediante el proceso de peróxido y ozono, ya que estos podrían reducir la DQO.

### **11.6. Parámetros**

Para la obtención de la siguiente tabla se trabajó con un el espectrofotómetro para turbidez y con un equipo multiparámetros que nos arrojó los siguientes resultados:

**Tabla 9:** Parámetros.

<b>N°</b>	<b>Turbidez NTU/FN U</b>	<b>pH</b>	<b>%D O</b>	<b>mg/ L DO</b>	<b>mS/c m</b>	<b>mg/ L Tds</b>	<b>PS U</b>	<b>Temperatu ra °C</b>
<b>1</b>	5	4.7 7	66.6	4.59	0.048	24	0.0 2	18.09
<b>2</b>	2	4.8 6	69.0	4.75	0.049	23	0.0 2	18.15
<b>3</b>	2	4.8 8	63.3	4.36	0.047	23	0.0 2	18.13
<b>4</b>	2	4.8 9	64.1	4.38	0.063	31	0.0 3	18.52
<b>5</b>	5	4.8 8	69.3	4.77	0.063	32	0.0 3	18.14
<b>6</b>	5	4.8 9	61.4	4.22	0.064	32	0.0 3	18.17
<b>7</b>	8	4.9 1	78.7	5.38	0.063	32	0.0 3	18.48
<b>8</b>	9	4.9 1	74.9	5.09	0.063	32	0.0 3	18.72
<b>9</b>	4	4.9 0	71.0	4.84	0.063	32	0.0 3	18.67
<b>10</b>	6	4.9 0	64.4	4.38	0.063	32	0.0 3	18.71
<b>11</b>	8	4.9 0	73.6	4.98	0.063	32	0.0 3	18.92
<b>12</b>	5	4.8 9	71.3	4.82	0.063	32	0.0 3	18.99
<b>1</b>	6	4.8 8	60.4	4.14	0.047	24	0.0 2	18.29
<b>2</b>	3	4.9 1	72.0	4.91	0.046	23	0.0 2	18.60

<b>3</b>	7	4.9	73.5	5.05	0.054	27	0.0	18.2
		1					2	
<b>4</b>	4	4.9	68.3	4.70	0.064	32	0.0	18.08
		2					3	
<b>5</b>	5	4.9	69.6	4.73	0.065	33	0.0	18.72
		4					3	
<b>6</b>	9	4.9	55.3	3.81	0.065	33	0.0	18.09
		2					3	
<b>7</b>	8	4.9	68.8	4.72	0.065	32	0.0	18.27
		3					3	
<b>8</b>	9	4.9	66.9	4.56	0.065	32	0.0	18.58
		3					3	
<b>9</b>	4	4.9	73.0	5.02	0.064	32	0.0	18.13
		2					3	
<b>10</b>	4	4.9	68.6	4.69	0.065	32	0.0	18.46
		2					3	
<b>11</b>	4	4.9	74.9	5.13	0.066	33	0.0	18.29
		2					3	
<b>12</b>	5	4.9	76.8	5.27	0.065	32	0.0	18.28
		3					3	
<b>Promedi</b>	5.38	4.9	68.9	4.72	0.06	30.0	0.0	18.40
<b>o</b>		0	9			8	3	

En la tabla 9 se presentan los parámetros del agua del río Nambillo, con las siguientes observaciones:

**Turbidez:** La turbidez promedio de 5,3 NTU indica una presencia baja a moderada de partículas suspendidas en el agua, las cuales pueden ser causadas por sedimentos, microorganismos o contaminantes.

**pH:** El pH promedio de 4,90 sugiere que el agua es ácida, ya que cualquier valor por debajo de 7 en la escala de pH indica acidez. Un pH de 4,90 es significativamente ácido y puede tener importantes implicaciones ambientales,

especialmente si está relacionado con un derrame de petróleo, ya que puede afectar la calidad del agua y la vida acuática.

**%DO:** La saturación de oxígeno disuelto es del 68,99%, lo cual se considera moderado. Aunque no es alarmantemente bajo, indica que el agua no está completamente saturada de oxígeno.

**mg/L DO:** La mayoría de los peces y otros organismos acuáticos necesitan al menos 5-6 mg/L de oxígeno disuelto para mantener una vida saludable. Un valor de 4,72 mg/L está ligeramente por debajo de este rango, lo que puede comenzar a causar estrés a algunos organismos sensibles.

**mS/cm:** Un valor de 0,06 mS/cm sugiere que el agua tiene una baja concentración de iones disueltos. Esto es típico de aguas puras o de lluvia, que contienen pocas sales y minerales.

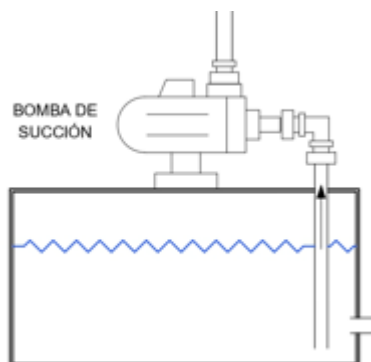
**mg/L TDS:** Un valor de 30,08 mg/L de sólidos disueltos totales (TDS) es bastante bajo, indicando una muy baja concentración de sustancias disueltas. Esto es típico de aguas puras o tratadas, y es un buen indicador de alta calidad del agua.

**PSU:** Un valor de 0,03 PSU es típico de agua dulce. La salinidad del agua de mar suele ser de alrededor de 35 PSU, mientras que la salinidad del agua dulce generalmente es mucho menor, típicamente menos de 1 PSU.

**Temperatura °C:** Una temperatura de 18,40 °C está dentro del rango típico de muchas masas de agua dulce como ríos, lagos y arroyos, especialmente en climas templados. Este rango es adecuado para muchas especies de peces y otros organismos acuáticos.

### **11.7. Modelo en 3D del tanque.**

En este modelo podemos encontrar distintas partes, donde cada parte cumple una función, a continuación, detallamos algunas de ellas:

**Figura 3:** Bomba de succión y tanque de agua sin tratar.

**Bomba de succión:** Una bomba de succión es un dispositivo que mueve líquidos o gases mediante la creación de un vacío parcial en su cámara, lo que permite la aspiración del fluido debido a la diferencia de presión entre el interior de la bomba y el exterior. Luego, el fluido es comprimido y expulsado a través de una válvula de salida. Este proceso se repite continuamente para asegurar el transporte constante del fluido. Se utilizó una bomba con las siguientes características:

**Tabla 10:** Características de la bomba de succión.

<b>Características</b>			
Modelo: 6B1170B		No. Serie: 2305120260	
H.máx.26m		Q.max.35lpm	
10V	60 Hz	4.3A	0.5HP
3.450 r/min	Succión máx. 8m		16μF/250V
Clase: B	IP44	S1	1”X1”

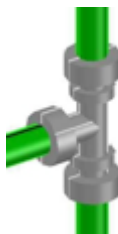
**Tanque de agua sin tratar:** En este tanque se ubicó las muestras de agua que fueron obtenidas directamente del río. El cual tenía una capacidad de 30 litros.

**Figura 4:** Válvula esférica.



**Válvula esférica:** Funciona controlando el flujo de un líquido o gas a través de una tubería mediante una esfera perforada dentro de la válvula. Se utilizó una válvula esférica de PVC con una manija de polipropileno y una medida de 1 1/2 plg.

**Figura 5:** Tee.



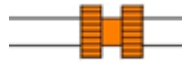
**Tee:** Es un accesorio en forma de "T" utilizado en sistemas de tuberías para dividir o combinar el flujo de un fluido. Tiene tres conexiones: una entrada y dos salidas, o viceversa. Las características de la misma constan del material polipropileno con un diámetro de 2 plg, el tipo de unión es enroscable y por lo general su uso es para sistemas a presión de agua potable.

**Figura 6:** Codo.



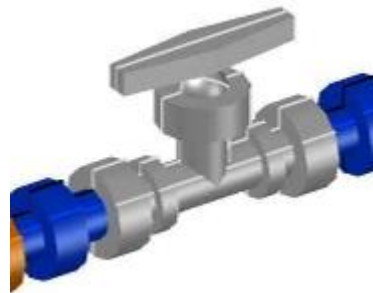
**Codo:** Accesorio de tubería que se utiliza para cambiar la dirección del flujo de un fluido en un sistema de tuberías, generalmente en ángulos de 45° o 90°. Se ocupó un codo a 90° con una medida de 1/2 plg.

**Figura 7:** Unión.



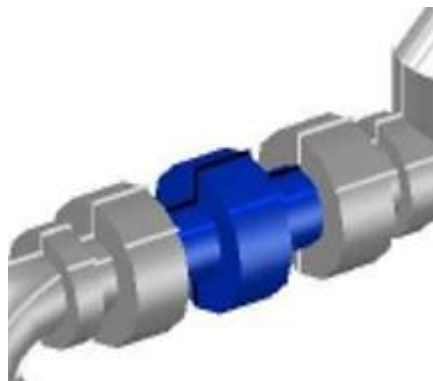
**Unión:** Es un accesorio de tubería que permite conectar o desconectar dos secciones de tubería de manera fácil y rápida. El tipo de unión que se utilizó es enroscable roja, de polipropileno con un diámetro de  $\frac{1}{2}$  plg.

**Figura 8:** Llave de paso.



**Llave de paso:** Es un dispositivo que controla el flujo de un fluido en una tubería, permitiendo abrir, cerrar o regular el paso. Para el prototipo se utilizó una llave paso en bronce, que permite la apertura o cierre del paso en este caso de agua con una medida de  $\frac{1}{2}$  plg.

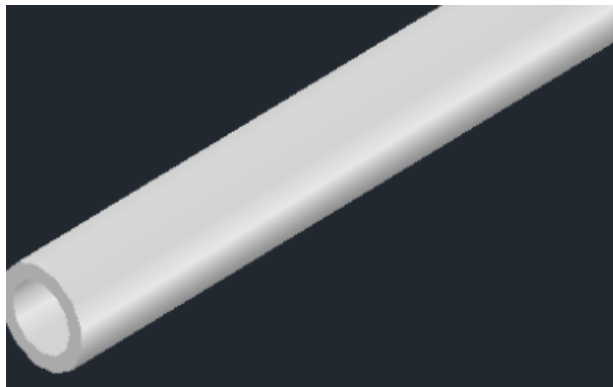
**Figura 9:** Neplo corrido.



**Neplo corrido:** Es un componente tubular con roscas en ambos extremos, lo que proporciona alta precisión dimensional y propiedades mecánicas específicas. Se utiliza para conectar tuberías o componentes en sistemas de conducción de fluidos, ofreciendo una conexión segura y resistente a la presión. Además, puede ser

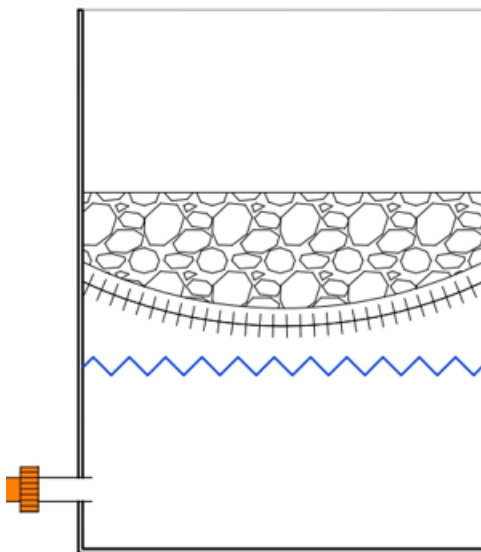
altamente duradero y resistente a la corrosión, dependiendo del material utilizado. En el prototipo se utilizó un neopreno con una medida de 1plg.

**Figura 10:** Tubo de media.



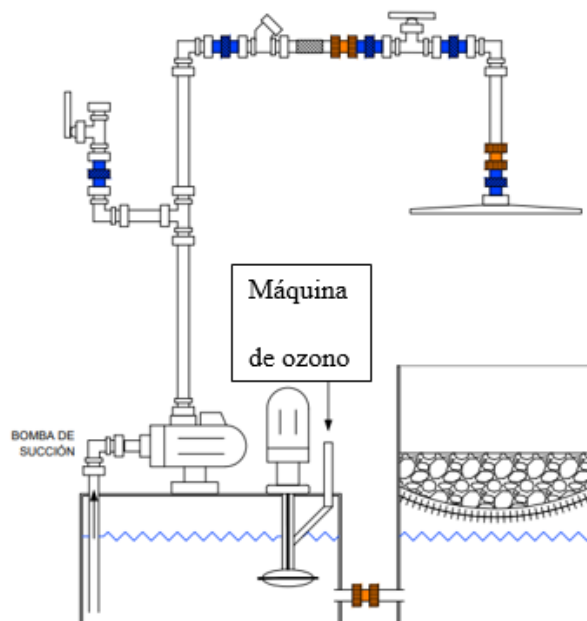
**Tubo de media:** generalmente se refiere a un tubo con un diámetro nominal de media pulgada (12mm)

**Figura 11:** Tanque percolador.



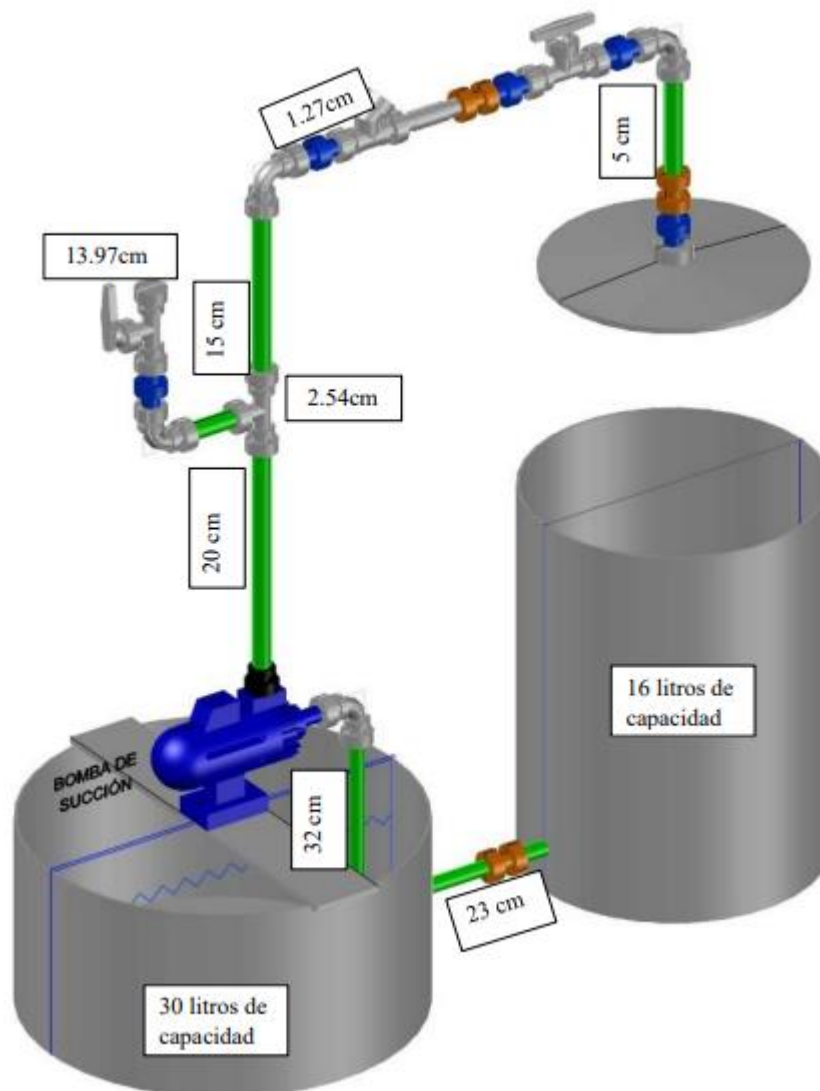
**Tanque percolador:** Este tanque se usa para filtrar líquidos a través de un medio poroso, como arena o grava. El líquido ingresa en la parte superior del tanque y se filtra lentamente a través del medio, donde las impurezas son atrapadas. El líquido limpio se recoge en la parte inferior del tanque, permitiendo su salida hacia otros procesos o sistemas. Este tanque tiene una capacidad para percolar 16 litros de agua.

**Figura 12:** Bomba de ozono.



En el mismo se introducen las piedras porosas y aquellas que tengan biopelícula, las piedras porosas fueron las encargadas de la distribución uniforme del gas ozono en el agua a tratar, por otro lado, el peróxido de hidrogeno al 30% se lo diluyo con agua destilada antes de agregarlo al tanque.

**Figura 13:** Modelo del tanque de oxidación en 3D.



**Tanque de oxidación:** Es un sistema utilizado en el tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes orgánicos. En este tanque, el agua residual se mezcla con oxígeno (generalmente a través de aireación) para promover la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica. El proceso de oxidación reduce la carga contaminante del agua antes de que continúe a etapas posteriores de tratamiento o se libere al medio ambiente.

### 11.8. Resultados del Tanque de Oxidación Tras la Prueba

Los datos obtenidos después de la prueba del tanque de oxidación con la muestra percolada son los siguientes:

**Tabla 11:** Resultados de la muestra percolada.

<b>N° de muestra</b>	<b>Turbidez NTU/FNU</b>	<b>pH</b>	<b>%D O</b>	<b>mg/L DO</b>	<b>mS/cm</b>	<b>mg/L TDS</b>	<b>PS U</b>	<b>Temperatura °C</b>
<b>Muestra percolada</b>	4,52	6,3	66,3	5,23	0,80	63,2	0,2	18,53
		0	3			6	8	

En la tabla 10 se observa los datos obtenidos tras la percolación del agua, en la siguiente tabla se detalla la eficiencia del filtro.

### 11.9. Cuadro comparativo

**Tabla 12:** Cuadro comparativo de la eficiencia del filtro.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR ANTES DE SER TRATADO</b>	<b>VALOR DESPUÉS DE SER TRATADO</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>EFICIENCIA %</b>
<b>Turbidez NTU/FNU</b>	5.38	4.52	INEM 1105 para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU	90.40

<b>pH</b>	4.90	6.30	INEM 1103	90.00
			Escala numérica va de 0 a 14, donde 7 indica un pH neutro, valores menores a 7 indican acidez y valores mayores a 7 indican alcalinidad	
<b>%DO</b>	68.99	66.33	<b>Normas ISO y APHA</b>	94.76
			Los valores aceptables pueden variar según el tipo de cuerpo de agua %DO puede fluctuar ampliamente dependiendo de la temperatura, la presencia de algas y otros factores.	
<b>mg/L DO</b>	4.72	5.23	NORMA INEM	87.17
			Generalmente entre 5 y 10 mg/L, para asegurar la potabilidad y el	

---

			soporte de vida acuática.	
<b>mS/cm</b>	0.06	0.80	NORMA 1101 varía dependiendo de la fuente y el tratamiento. Valores típicos pueden estar en el rango de 0.5 a 1.5 mS/cm	53.33
<b>mg/L TDS</b>	30.08	63.26	NORMA INEM 1108 Los niveles de TDS en agua potable típicamente deben estar por debajo de 500 mg/L para ser considerados aceptables	12.65
<b>PSU</b>	0.03	0.28	Para el agua potable, la OMS no proporciona un límite específico para la salinidad en PSU, pero recomienda que la concentración de cloruros no	62.22

---

---

			exceda los 250 mg/L, lo que equivale aproximadamente a una salinidad de 0.45 PSU.
<b>Temperatura</b> °C	18.40	18.53	NORMA INEM 123.53 1109 La temperatura del agua potable debe estar en el rango adecuado para su consumo, generalmente entre 7°C y 15°C, aunque puede variar

---

**Turbidez:****Valor obtenido:** 4,52 NTU

**Contexto:** La turbidez mide la claridad del agua, con valores más bajos indicando agua más clara. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la turbidez del agua potable no exceda los 5 NTU, y para una desinfección efectiva, preferiblemente menor a 1 NTU.

**Análisis:** El valor de 4,52 NTU indica que el tratamiento ha mejorado significativamente la claridad del agua. Aunque no alcanza el nivel óptimo para desinfección (<1 NTU), está dentro de los límites recomendados para agua potable, lo cual es una mejora significativa en la calidad del agua.

**pH:****Valor obtenido:** 6,30

**Contexto:** El pH mide la acidez o alcalinidad del agua. Un pH de 7 es neutral; valores menores indican acidez y valores mayores indican alcalinidad. La Directiva Marco del Agua de la Unión Europea recomienda mantener el pH del agua entre 6 y 9 para asegurar un buen estado ecológico.

**Análisis:** Con un pH de 6,30, el agua tratada es ligeramente ácida pero se encuentra dentro del rango aceptable, lo cual es favorable para la mayoría de los organismos acuáticos y asegura la estabilidad ecológica del cuerpo de agua.

**% Saturación de Oxígeno Disuelto (%DO):**

**Valor obtenido:** 66,33%

**Contexto:** La saturación de oxígeno disuelto es crucial para la vida acuática. Un nivel comúnmente aceptado para ríos es no menos del 60-70%.

**Análisis:** El valor de 66,33% está dentro del rango adecuado, indicando que el agua tiene suficiente oxígeno disuelto para soportar la mayoría de las formas de vida acuática y evitar condiciones anóxicas.

**Oxígeno Disuelto (mg/L DO):**

**Valor obtenido:** 5,23 mg/L

**Contexto:** La cantidad de oxígeno disuelto es esencial para la respiración de los organismos acuáticos. Los niveles óptimos suelen estar entre 5-6 mg/L.

**Análisis:** Un valor de 5,23 mg/L es adecuado para la mayoría de los organismos acuáticos, asegurando un ambiente saludable y reduciendo el estrés en los organismos sensibles.

**Conductividad (mS/cm):**

**Valor obtenido:** 0,80 mS/cm

**Contexto:** La conductividad mide la capacidad del agua para conducir electricidad, lo cual está relacionado con la concentración de iones disueltos. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los EE. UU. no tiene un límite específico federal, pero algunos estados recomiendan entre 0,5 y 1,5 mS/cm.

**Análisis:** Con una conductividad de 0,80 mS/cm, el agua tratada está dentro de los rangos aceptables, indicando una concentración de iones disueltos adecuada para la mayoría de los ecosistemas acuáticos.

**Sólidos Disueltos Totales (mg/L TDS):**

**Valor obtenido:** 63,26 mg/L

**Contexto:** Los TDS indican la cantidad total de sustancias disueltas en el agua. Valores bajos son típicos de aguas puras o tratadas.

**Análisis:** Un valor de 63,26 mg/L es bastante bajo, indicando una muy baja concentración de sustancias disueltas, lo cual es un buen indicador de la alta calidad del agua.

**Salinidad (PSU):**

**Valor obtenido:** 0,28 PSU

**Contexto:** La salinidad mide la concentración de sales en el agua. La OMS recomienda que la concentración de cloruros en el agua potable no exceda los 250 mg/L (aproximadamente 0,45 PSU).

**Análisis:** La salinidad de 0,28 PSU está dentro de los límites aceptables, indicando que el agua es adecuada para su uso y consumo.

**Temperatura (°C):**

**Valor obtenido:** 18,53 °C

**Contexto:** La temperatura del agua afecta la solubilidad del oxígeno y la salud de los ecosistemas acuáticos. La OMS no establece un límite específico para la temperatura de los ríos, pero recomienda controlarla para evitar la proliferación de patógenos.

**Análisis:** La temperatura de 18,53 °C es adecuada para la mayoría de los organismos acuáticos y está dentro del rango típico para muchas masas de agua dulce.

Los resultados demuestran que el prototipo del tanque de oxidación mejora significativamente la calidad del agua en varios parámetros cruciales. La reducción de la turbidez y la mejora en los niveles de oxígeno disuelto son particularmente destacables. Estos resultados confirman la eficiencia del sistema de tratamiento en mejorar la calidad del agua del río Nambillo, haciéndolo más seguro para los ecosistemas acuáticos y potencialmente para el consumo humano tras un tratamiento adicional.

## **12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

El proyecto de diseño de un tanque de oxidación con intervención de peróxido y ozono para el tratamiento de aguas residuales en el efluente de la parroquia de Mindo, específicamente del río Nambillo, tendrá una serie de impactos en diferentes ámbitos. A continuación, se detallan estos impactos categorizados de manera técnica y ordenada.

### **12.1. Impactos técnicos**

- **Innovación Tecnológica:**
  - Implementación de tecnologías avanzadas de oxidación (O<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) y biorremediación que proporcionarán una solución eficaz y eficiente para el tratamiento de aguas residuales.
  - Desarrollo y evaluación de un sistema integrado de tratamiento que puede ser replicado en otras regiones con características similares.
  
- **Mejora de la Calidad del Agua:**
  - Reducción significativa de contaminantes en el agua residual, mejorando la calidad del agua en el río Nambillo.
  - Posibilita un monitoreo continuo y la optimización del proceso de tratamiento basado en datos en tiempo real.
  
- **Capacitación y Desarrollo de Competencias:**

- Formación y capacitación del personal técnico local en la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, fortaleciendo las capacidades locales.

## **12.2. Impactos Sociales**

### **- Salud Pública:**

- Mejora de la calidad del agua utilizada por la comunidad, reduciendo el riesgo de enfermedades relacionadas con el agua contaminada.
- Aumento en la disponibilidad de agua limpia y segura para usos domésticos y recreativos.

### **- Educación y Conciencia Ambiental:**

- Promoción de la educación ambiental y la conciencia sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales entre la comunidad local.
- Involucramiento de la comunidad en actividades de monitoreo y conservación, fomentando una cultura de protección ambiental.

### **- Compromiso con la Comunidad Local:**

- Demostración del compromiso del proyecto con la comunidad local al ofrecer soluciones sostenibles para el manejo de recursos naturales.
- Fomento de la participación comunitaria en la gestión del proyecto y la toma de decisiones.

## **12.3. Impactos Ambientales**

### **- Conservación de la Biodiversidad:**

- Protección de la flora y fauna local al reducir la carga de contaminantes en el río Nambillo, un hábitat crucial para numerosas especies endémicas.
- Prevención de la degradación de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados al río.

### **- Protección de los Bosques Nublados:**

- Mantenimiento de la calidad del agua en la región, lo que ayuda a preservar los bosques nublados, un ecosistema sensible a los cambios ambientales.
- **Sostenibilidad Ambiental:**
  - Alineación del proyecto con los principios de sostenibilidad ambiental, promoviendo prácticas responsables y respetuosas con el medio ambiente.
  - Contribución a la integridad de los ecosistemas acuáticos locales mediante la eliminación de contaminantes.
- **Puntos Críticos de Biodiversidad:**
  - Justificación del proyecto como una medida estratégica para mitigar los impactos negativos de las aguas residuales en áreas prioritarias para la conservación.

#### **12.4. Impactos Económicos**

- **Promoción del Turismo Sostenible:**
  - Mejora de la calidad del agua, lo que contribuye a la preservación de los atractivos naturales y promueve el turismo sostenible en Mindo, un destino turístico reconocido.
  - Incremento potencial en el número de visitantes y en los ingresos generados por el turismo debido a un entorno natural más saludable y atractivo.
- **Desarrollo Económico Local:**
  - Generación de empleo local tanto durante la fase de implementación como en la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.
  - Estímulo de la economía local mediante la compra de materiales y servicios necesarios para el proyecto.
- **Valoración Económica de los Recursos Naturales:**
  - Incremento en el valor económico de los recursos naturales de la región debido a la mejora en la calidad ambiental y la conservación de la biodiversidad.
- **Costos a Largo Plazo:**
  - Reducción de costos a largo plazo relacionados con la gestión de la contaminación del agua y la salud pública.

- Ahorro en gastos futuros derivados de la degradación ambiental y la pérdida de biodiversidad.

Al abordar estos impactos desde una perspectiva técnica, social, ambiental y económica, el proyecto no solo mejora la calidad del agua y protege el ecosistema del río Nambillo, sino que también genera beneficios sostenibles para la comunidad local y promueve la conservación del medio ambiente.

### **13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **13.1. CONCLUSIONES**

- La caracterización del río Nambillo, que incluyó la identificación de fuentes de contaminación y el análisis de parámetros físico-químicos y biológicos, proporcionó una base sólida para el desarrollo del sistema de tratamiento. Este diagnóstico permitió definir los requisitos específicos necesarios para abordar la contaminación del río de manera efectiva.
- Los análisis de laboratorio realizados antes y después del tratamiento con el sistema de tanque de oxidación indicaron una reducción significativa en los niveles de sólidos totales y disueltos, así como en la demanda química de oxígeno (DQO). Estos resultados confirman la eficacia del sistema en la mejora de la calidad del agua. Los datos obtenidos después de la prueba del tanque de oxidación muestran que la turbidez se redujo a 4,52 NTU, el pH se ajustó a 6,30, la saturación de oxígeno disuelto alcanzó el 66,33%, y la concentración de oxígeno disuelto fue de 5,23 mg/L. Además, la conductividad se incrementó a 0,80 mS/cm y la concentración de sólidos disueltos totales (TDS) se elevó a 63,26 mg/L. Estos resultados indican que el proceso de tratamiento mejoró significativamente varios parámetros de calidad del agua, haciéndola más adecuada para la vida acuática y el uso humano.
- La implementación exitosa del sistema de tratamiento ha tenido un impacto positivo tanto en el ecosistema acuático del río Nambillo como en la comunidad local de Mindo. La mejora en la calidad del

agua contribuye a la preservación de la biodiversidad y a la promoción de un entorno más saludable para los residentes y turistas.

### **13.2. RECOMENDACIONES**

- Establecer un programa de monitoreo continuo a cargo de profesionales internos o externos a la parroquia para evaluar la calidad del agua tratada de manera constante y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad. El mantenimiento regular de los equipos de oxidación y biorremediación es esencial para garantizar su funcionamiento óptimo y prolongar su vida útil conjuntamente desarrollar y llevar a cabo campañas educativas y talleres dirigidos a la comunidad local por parte de las autoridades competentes y miembros a cargo de la investigación para aumentar la conciencia sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales y la conservación del río Nambillo. La participación y el apoyo comunitario son cruciales para la sostenibilidad del proyecto.
- Buscar financiamiento adicional y establecer colaboraciones con entidades gubernamentales, ONG y organizaciones internacionales. Estas colaboraciones pueden ayudar a expandir el alcance del proyecto y asegurar su sostenibilidad financiera a largo plazo, fomentando la investigación continua para mejorar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales y explorar nuevas innovaciones en biorremediación y oxidación avanzada. Esto incluye la optimización de las condiciones operativas del tanque de oxidación y la prueba de nuevos materiales para biopelículas.
- Considerar la expansión del sistema integrado de tratamiento a otras áreas con problemas similares de contaminación del agua. La replicación del proyecto en diferentes contextos puede amplificar sus beneficios ambientales y sociales, sirviendo como modelo para otras comunidades y contribuyendo a la mejora de la calidad del agua a nivel regional.

#### 14. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M., Cantú, J., & Hueyotl, F. (2022). *Diseño de cuerpos sólidos con FreeCAD y su uso en dinámica de fluidos computacional*. Obtenido de <https://ctes.org.mx/index.php/ctes/article/view/770>
- Alfárez, L., & Nieves, N. (2019). *PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR): IMPACTO AMBIENTAL ESPERADO E IMPACTO AMBIENTAL PROVOCADO*. Obtenido de <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html>
- Álvarez, J., Smeltekop, H., Cuba, N., & Loza, M. (2011). *Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (Coffea arabica) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz*. Obtenido de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2072-92942011000100005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942011000100005&lng=es&tlng=es)
- Amaya, E., & Gélvez, D. (2023). *Pretratamiento de Aguas Residuales Mediante la Construcción de un Cribado Autolimpiante*. Obtenido de <https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/d69a7324-bb67-45a8-b646-9239d5a7ab7d>
- Andrade, T., & Francisco, G. (2014). *Tratamiento de aguas residuales mediante la combinación de técnicas avanzadas de oxidación y biofiltros*
- Arango Ruiz, Á. (2004). *La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua*. 1(núm. 2), 61–66.

- Arregui Gallegos, Omar. "Sostenibilidad y Estudios de Impacto Ambiental." *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, no. 18, mayo-agosto (2006). <https://doi.org/10.1016/j.tetasy.2005.08.005>
- Bo, T., Li, Y., & Gao, W. (2024). Exploring the effects of turbulent field on propagation behaviors in confined hydrogen-air explosion using. *International Journal of Hydrogen Energy*, 50(912), 927.
- Bosch, J. R. "La Calidad de Las Aguas." *Revista de Obras Publicas* 146, no. 3388 (1999): 103–4.
- Cieza, A., Culqui, M., Puican, V., & Callao, M. (2021). La Gestión de procesos internos en las empresas prestadoras de servicio de agua y alcantarillado en el Perú. Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1224>
- Colacicco, Antonio, and Enrico Zacchei. "Optimization of Energy Consumptions of Oxidation Tanks in Urban Wastewater Treatment Plants with Solar Photovoltaic Systems." *Journal of Environmental Management* 276, no. August (2020): 111353. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111353>.
- Cusiche, L., & Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 10(6), 15. Obtenido de <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1870/2605>
- De la Fuente, G. (2021). *Métodos de Análisis y Evaluación del Paisaje*. España: Editorial Ambiental.

- De la Torre, T., Rodriguez, C., Auset, M., Alonso, E., Santos, J., Aparicio, I., & Malfeito, J. (2010). Tecnología de membranas en el tratamiento de agua residual urbana para reutilización.*
- Duque, P., & Zagal, C. (2023). Modelamiento del tratamiento biológico: análisis con un ensayo experimental en un reactor discontinuo aeróbico. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 6(2), 11. Obtenido de <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/59203/42926>*
- Encinas, Maria. Medio Ambiente y Contamianción. Principios Básicos. Addi.Ehu.Es. Vol. 1, 2011.*
- Environmental information systems. (octubre de 2018). ¿Cuáles son las principales fuentes de la contaminación del agua? Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/es/help/preguntas-frecuentes/cuales-son-las-principales-fuentes>*
- González, D., & De Las Mercedes, Y. (2023). Relación entre Calidad del Agua y la Salud de los Habitantes del Río Portoviejo, Manabí. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9124316>*
- González, Rebeca Lorenzo. “Contribución de La Ingeniería Ambiental al Desarrollo Industrial Sostenible: Análisis Desde La Evaluación Impacto Ambiental (EIA).” Ingeniería Química y Ambiental, 2021.*
- INEC. (2010). Fascículo Provincial Cotopaxi. Resultados Censo 2010, 1–8.*
- Lozano-Rivas, W. A. (2012). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.*

Moreno, D., Jaimes, D., & Ochoa, Y. (2022). Reactores UASB como técnica para el tratamiento de contaminantes de aguas residuales y lixiviados. *Revista Ing-Nova*, 1, 215–226. <https://doi.org/10.32997/rin-2022-4006>

Nivia, J. A. S. (2021). *Nuevas Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*

Noyola, Alberto. *SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES. Selección de Tecnologías Para El Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, 2013.

Ocampo, Armando Marín. “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” Tomo II (2013): 85–90.

*Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado. (24 de June de 2019). Recuperado el 17 de August de 2024, de Eumed.net:*  
<https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/06/tratamiento-aguas-residuales.html>

Sarkar, Kalyan Kumar. “Development of an Integrated Treatment Strategy for Removal of Ondansetron Using Simultaneous Adsorption, Oxidation and Bioremediation Technique.” *Journal of Environmental Chemical Engineering* 7, no. 2 (2019): 103020.  
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103020>.

Sawyer, Clair N. “*Química Para Ingeniería Ambiental (2001, Mc Graw Hill)*,” 2001.

Spiro Thomas. “*Química Ambiental*,” 2009.

*Terán, Mery. "Estudio de La Aplicacion de Procesos de Oxidacion Avanzada a Aguas Contaminadas - TFG." Repositorio Unitécnica de Cataluña, 2016, 100.*

*Torres Andrade, Guillermo Francisco. "Tratamiento De Aguas Residuales Mediante La Combinación De Técnicas Avanzadas De Oxidación Y Biofiltros." Universidad De Las Palmas De Gran Canaria, 2014, 525.*

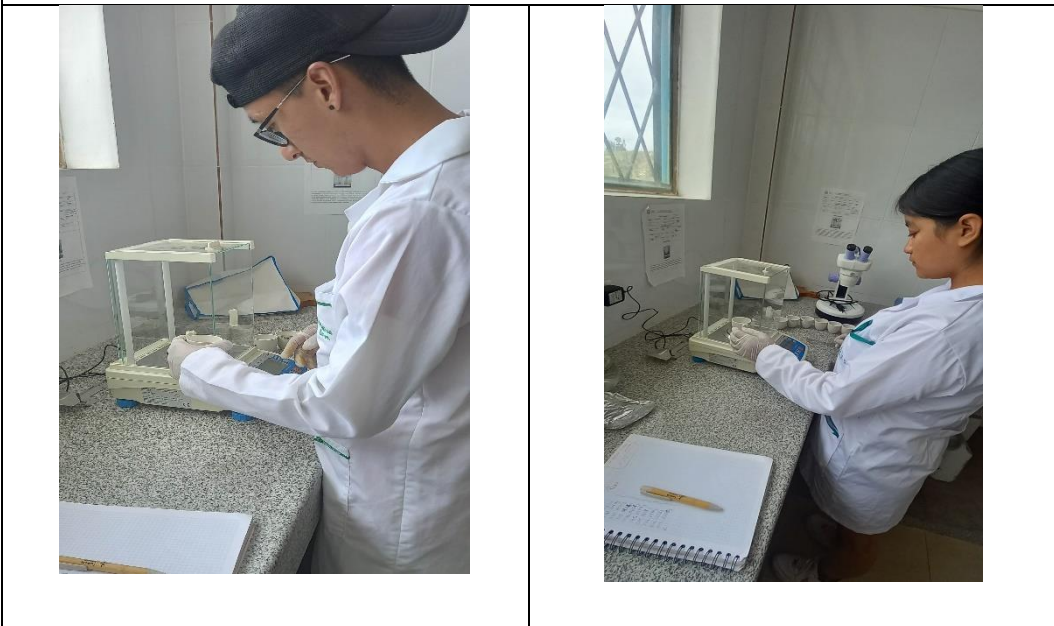
*Valle González, J. R. del. (2020). Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. Voces de la Educación.*

## 15. ANEXOS

### 15.1. ANEXO 1 IMÁGENES DE RECOLECCION DE MUESTRAS



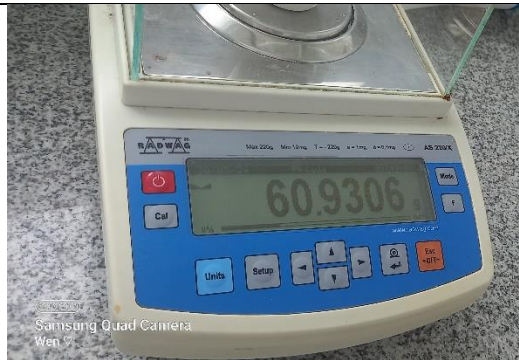
**Toma de muestras**



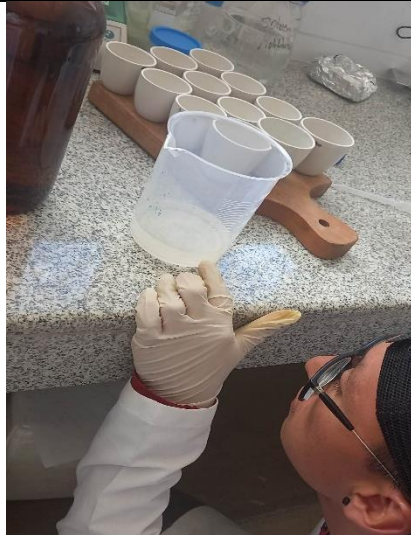
**Fase de laboratorio**



### Materiales de laboratorio



### Peso de los crisoles



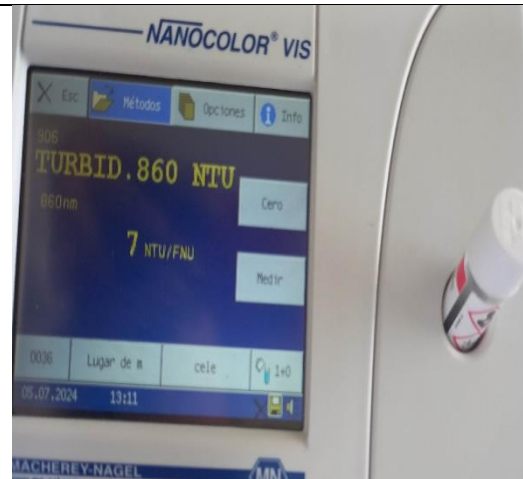
### Medición de muestras de agua para agregar a los crisoles



**Proceso para DQO**



**Medición con multiparámetros**



**Medición de turbidez con espectrofotómetro**


## 15.2. ANEXO: AVAL DE TRADUCCION

### AVAL DE TRADUCCIÓN - PROFESIONAL EXTERNO

Yo Villacís Sandoval Doménica Anahí, con cédula de identidad número: 0503890600, Licenciada en Pedagogía del Idioma Inglés con número de registro de la SENESCYT No.1020-23-2744846; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma Inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: **"DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRADO DE TANQUE DE OXIDACIÓN PARA EL TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE AGUAS RESIDUALES DEL RÍO NAMBILLO MEDIANTE TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE OXIDACIÓN CON OZONO Y PERÓXIDO, CON IMPLEMENTACIÓN DE BIORREMEDIACIÓN"**, de: **Iturralde Gamboa Joel Marcelo y Yépez Guerra Wendy Dayana**, de la Carrera de Ingeniería Ambiental, perteneciente a la **Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**.

En virtud de lo expuesto y para constancia de lo mismo se registra la firma respectiva.

Latacunga, 16 de agosto del 2024



Lic. Doménica Anahí Villacís Sandoval

C.I: 0503890600

Email: domeanahi02@gmail.com

Contacto: 0995761816

15.3. ANEXO: CERTIFICADO DL AVAL DE TRADUCCION



**Look Up!**  
ENGLISH LEARNING  
CENTER

# CERTIFICATION

OF TRANSLATION ACCURACY

Expongo que el texto traducido refleja el contenido, el significado y el texto original, constituyendo en todos los aspectos una traducción completa y precisa.

Como representante autorizado, verifico que he revisado el documento "Abstract" y adjunto que es una traducción fiel y auténtica de su originalidad.



**LIC. DOMÉNICA VILLACÍS**

Look Up! ELC; August, 20