



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS**  
**NATURALES**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

---

**“EUTROFIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS  
CON ABSORCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO,  
SECTOR SAN JOSÉ DE PICHUL, PERÍODO 2021 – 2022”**

---

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Medio Ambiente

**Autoras:**

Guanin Pallasco Leysvin Camila  
Reatiqui Chiluisa Diana Nataly

**Tutor:**

Daza Guerra Oscar René Ing. M.Sc.

**LATACUNGA - ECUADOR**

**Marzo 2022**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Guanin Pallasco Leisvyn Camila con cédula de ciudadanía No. 0504021809; y Reatiqui Chiluisa Diana Nataly con cédula de ciudadanía No. 0504021809, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “Eutrofización de aguas residuales domiciliarias con absorción biológica de nitrógeno y fósforo, sector san José de Pichul, período 2021 – 2022”, siendo el Ing. Oscar René Daza Guerra, 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.

Latacunga, 12 de abril del 2022

Guanin Pallasco Leysvin Camila

Estudiante

CC.: 0504021809

Reatiqui Chiluisa Diana Nataly

Estudiante

CC.: 0550368047

Ing. M.Sc. Oscar René Daza Guerra

Docente Tutor

CC.: 0400689790

## **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 **GUANIN PALLASCO LEISVYN CAMILA** identificada con cédula de ciudadanía No. **050402180-9**, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero PhD. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, 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** son personas naturales estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Eutrofización de aguas residuales domiciliarias con absorción biológica de nitrógeno y fósforo, sector San José de Pichul, Período 2021 – 2022”, 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 2016 - marzo 2017

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Abril 2022

Aprobación en Consejo Directivo. - 7 de Enero del 2022

Tutor: Ing. Oscar René Daza Guerra, M. Sc

Tema: “Eutrofización de aguas residuales domiciliarias con absorción biológica de nitrógeno y fósforo, sector San José de Pichul, Período 2021 – 2022”

**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.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**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 solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de abril del 2022.

Leysvin Camila Guanin Pallasco  
Jiménez

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero

**EL CEDENTE**

**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 **REATIQUI CHILUISA DIANA NATALY** con cédula de ciudadanía **No. 055036804-7** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero PhD. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, 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** son personas naturales estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Eutrofización de aguas residuales domiciliarias con absorción biológica de nitrógeno y fósforo, sector San José de Pichul, Período 2021 – 2022”, 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 2016- marzo 2017

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Abril 2022

Aprobación en Consejo Directivo. - 7 de Enero del 2022

Tutor: Ing. Oscar René Daza Guerra, M. Sc

Tema: “Eutrofización de aguas residuales domiciliarias con absorción biológica de nitrógeno y fósforo, sector San José de Pichul, Período 2021 – 2022”

**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.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

**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 solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de abril del 2022.

Diana Nataly Reatiqui Chiluisa

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

**EL CEDENTE**

**LA CESIONARIA**

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

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

**“EUTROFIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS CON ABSORCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO, SECTOR SAN JOSÉ DE PICHUL, PERÍODO 2021 – 2022”**, de Guanin Pallasco Leisvyn Camila y Reatiqui Chiluisa Diana Nataly, 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, 18 de marzo del 2022

Ing. M.Sc. Oscar René Daza Guerra  
**DOCENTE TUTOR**  
CC.: 0400689790

## **AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

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 Guanin Pallasco Leisvyn Camila y Reatiqui Chiluisa Diana Nataly, con el título del Proyecto de Investigación: “EUTROFIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARAS CON ABSORCIÓN BIOLÓGICO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO EN EL SECTOR SAN JOSÉ DE PICHUL, PERIODO 2021 - 2022”, 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 realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 12 de abril del 2022

Lector 1 (Presidente)

Ing. Mg. José Luis Agreda.

CC.: 0103578365

Lector 2

Ing. Mg. Jaime Lema Pillalaza

CC.: 1723759932

Lector 3

Ing. Mg. José Andrade Valencia

CC.: 0502524481

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco principalmente a Dios por darme salud y vida, por guiarme a lo largo de mi etapa profesional, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a mis queridos padres: Milton Guanin y Marcia Pallasco por ser los principales promotores de mi sueño, por confiar y creer en mí y nunca dejarme sola, por los consejos los valores y principios que me han inculcado siempre.

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por darme la oportunidad de pertenecer a una gran prestigiosa institución que brinda una educación de calidad, gracias a todos los docentes que fueron parte de mi vida estudiantil por haberme impartido sus conocimientos y valores para ser una gran profesional.

Agradezco a mi tutor de tesis, quien ha estado desde el principio brindando sus conocimientos y experiencias para así finalizar con éxito este trabajo. Así también dar gracias a mis estimados lectores quienes han estado pendientes y dando sus críticas para así llegar a finalizar este trabajo de investigación.

**Camila Guanin**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

A mis padres Digna y Gonzalo por el apoyo y su amor incondicional que me brindaron a culminar mi objetivo tan anhelado durante este proceso de formación profesional.

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por darme la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución que ofrece una educación de calidad, a todos mis docentes que me brindaron sus conocimientos y su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera estudiantil, los cuales contribuyeron en mi formación para llegar a ser una profesional de éxito. En especial al Ing. Oscar Daza tutor de mi tesis, por sus conocimientos y experiencias transmitidos se logró culminar con éxito este trabajo de investigación.

**Diana Reatiqui**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico principalmente a mis queridos padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en una profesional. Ha sido el orgullo más grande y el privilegio de ser su hija.

A mis hermanas (os) por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta epata de mi vida.

A todas las personas que me apoyaron y han hecho que este trabajo se realice con éxito en especial aquellos que me abrieron la puerta y me compartieron sus conocimientos.

**Camila Guanin**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a:

A Dios quien ha sido mi guía, fortaleza y su mano de fidelidad y amor han estado conmigo hasta el día de hoy.

A mis padres Digna y Gonzalo quienes, con su amor paciencia sabiduría y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Miriam y Paul por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

**Diana Reatiqui**

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

**TÍTULO:** “EUTROFIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS CON ABSORCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO, SECTOR SAN JOSÉ DE PICHUL, PERÍODO 2021 – 2022”

**Autoras:**

Guanin Pallasco Leysvin Camila  
Reatiqui Chiluisa Diana Nataly

**RESUMEN**

La liberación de aguas grises domiciliarias rurales sin tratar, conducen al aumento de la concentración de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, determinando cambios significativos en la estructura de la vegetación acuática de los cuerpos de agua adyacentes. En el presente estudio se evaluó un sistema de fitorremediación (*Lemna minor*) de aguas grises aplicado a un entorno domiciliario rural para extraer nutrientes eutrofizantes (N y P). Por lo tanto, la producción (cuatro semanas) de agua gris en el entorno domiciliario arrojó un volumen de 2.99 m<sup>3</sup>, esta incluyó efluentes provenientes de lavabos de manos, cocina y de la lavandería. La producción total durante las 6 semanas del estudio fue de 4,43 m<sup>3</sup>. A continuación, la macrófita acuática (*L. minor*) empleada para la fitorremediación en el estanque, presentó una densidad inicial de 0.1 kg/m<sup>2</sup>, y al final se observó 0.56 kg/m<sup>2</sup>, detallando un crecimiento exponencial. Además, la conductividad eléctrica del agua tratada se redujo de 2.6 a 0.15 µS/cm<sup>-1</sup>, en una tendencia lineal decreciente. Luego, el análisis del contenido de nutrientes, permitió cuantificar una concentración inicial de N de 0,01 mg/l, la misma que después de 42 días de tratamiento con *Lemna minor*, se redujo a 0,004 mg/l; mientras tanto, el P disminuyó de 14.7 a 0.27 ppm. En conclusión, se demostró una remoción del Nitrógeno Total del 60%; en contraste, el fósforo alcanzó una eficiencia de absorción del 98,16%.

**Palabras clave:** Sistema de fitorremediación, *Lemna minor*, aguas grises domiciliarias, eutrofización, nitrógeno y fósforo, eficiencia de absorción.

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

**TITLE:** “EUTROPHICATION OF DOMESTIC WASTEWATER WITH BIOLOGICAL ABSORPTION OF NITROGEN AND PHOSPHOROUS, SAN JOSÉ DE PICHUL SECTOR, PERIOD 2021 - 2022”

**Authors:**

Guanin Pallasco Leysvin Camila  
Reatiqui Chiluisa Diana Nataly

**ABSTRACT**

The release of untreated rural domestic graywater leads to an increase in the concentration of nutrients, especially nitrogen and phosphorus, causing significant changes in the structure of aquatic vegetation in adjacent water bodies. In the present study, a graywater phytoremediation system (*Lemna minor*) applied to a rural household environment was evaluated to extract eutrophying nutrients (N and P). Therefore, the total production (four months) of graywater in the household environment yielded a volume of 2.99 m<sup>3</sup>, which included effluent from hand washing, kitchen and laundry. The total production during the 6 weeks of the study was 4.43 m<sup>3</sup>. Next, the aquatic macrophyte (*L. minor*) used for phytoremediation in the pond, presented an initial density of 0.1 kg/m<sup>2</sup>, and at the end 0.56 kg/m<sup>2</sup> was observed, detailing an exponential growth. In addition, the electrical conductivity of the treated water decreased from 2.6 to 0.15 μS/cm<sup>-1</sup>, in a linear decreasing trend. Then, the nutrient content analysis allowed quantifying an initial N concentration of 0.01 mg/l, which after 42 days of treatment with *Lemna minor* was reduced to 0.004 mg/l; meanwhile, P decreased from 14.7 to 0.27 ppm. In conclusion, a total nitrogen removal of 60% was demonstrated; in contrast, phosphorus reached an absorption efficiency of 98.16%.

**Keywords:** Phytoremediation system, *Lemna minor*, domestic greywater, eutrophication, nitrogen and phosphorus, absorption efficiency.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	vi
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ix
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	x
AGRADECIMIENTO .....	xi
AGRADECIMIENTO .....	xii
DEDICATORIA.....	xii
DEDICATORIA.....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xxi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xxii
1. INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	4
5. OBJETIVOS.....	5
5.1. Objetivo General.....	5
5.2. Objetivos específicos.....	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS	6
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
7.1. Aguas grises domiciliarias.....	7
7.2. Origen y características de las aguas grises.....	7

7.2.1. Riesgos ambientales .....	8
7.2.2. Riesgos sanitarios .....	9
7.2.3. Riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 a través de aguas grises .....	9
7.3. Sistemas de recuperación de aguas grises .....	10
7.3.1. Sistemas físicos .....	11
7.3.2. Sistemas Químicos .....	13
7.3.3. Sistemas Biológicos.....	13
7.3.4. Sistemas híbridos.....	15
7.4. Huella de aguas grises .....	15
7.5. Eutrofización .....	16
7.5.1. Causas de la eutrofización .....	16
7.5.2. Clasificación de la eutrofización .....	17
7.5.3. Efectos de la eutrofización .....	18
7.6. Soluciones Basadas en la Naturaleza para Recuperación de Aguas Grises .....	19
7.6.1. Definición de Soluciones Basadas en la Naturaleza.....	20
7.7. Aplicaciones de <i>Lemna minor</i> para remoción de nutrientes.....	21
8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS .....	23
8.1. Preguntas Científicas .....	23
9. BASE LEGAL.....	24
9.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR.....	24
9.2. LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (LORHUA) .....	25
9.3. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MEDIO AMBIENTE (TULSMA): NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.....	26
10. METODOLOGÍA.....	29
10.1. Métodos .....	29

- Método mixto (cuali-cuantitativo).....	29
10.2. Técnicas.....	29
- Técnica documental o bibliográfica .....	29
- Técnica de campo .....	30
- Técnica del fichaje.....	30
- Técnica de laboratorio .....	30
- Técnica de análisis de datos .....	30
10.3. Instrumentos .....	30
- Ficha de medición.....	30
- Fotografías .....	30
- Internet.....	30
10.4. Área de estudio .....	30
10.4.1. Caracterización física .....	31
10.4.2. Caracterización biótica .....	32
10.5. Procedimiento del Sistema de Fito remediación para absorción de nutrientes eutrofizantes N y P. ....	33
10.5.1. Cuantificación de la producción domiciliaria de aguas grises .....	33
10.5.2. Dimensionamiento de los estanques para tratamiento.....	33
10.5.3. Introducción de la especie fitorremediadora Lemna minor.....	33
10.6. Calidad de agua gris residual domiciliaria respecto a nutrientes eutrofizantes N y P. 33	
10.6.1. Muestreo de agua residual .....	33
10.7. Determinación del contenido de N y P del agua gris .....	34
10.8. Determinación de la eficiencia de remoción de nutrientes eutrofizantes .....	34
11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
11.1. Implementación de un sistema de fitoremediación para la absorción y cuantificación de nutrientes eutrofizantes (Nitrógeno y Fósforo).....	35

11.2. Análisis del contenido de nutrientes eutrofizantes (N y P), provenientes de las aguas grises domiciliarias .....	38
11.3. Determinación de la eficiencia de remoción de N y P utilizando Lemna minor en el agua gris domiciliaria .....	40
12. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	42
12.1. Impactos técnicos .....	42
12.2. Impactos sociales.....	42
12.3. Impactos ambientales .....	42
12.4. Impactos económicos .....	42
13. CONCLUSIONES.....	44
14. RECOMENDACIONES .....	45
15. REFERENCIAS .....	46
16. ANEXOS.....	51
Anexo 1. Análisis inicial de agua eutrofizada (N y P) .....	51
Anexo 2. Análisis final de agua eutrofizada (N y P). .....	52
Anexo 3. Registro fotográfico .....	53
Anexo 4. Registro fotográfico .....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Beneficiarios del proyecto .....	3
<b>Tabla 2.</b> Matriz de actividades por objetivos .....	6
<b>Tabla 3.</b> Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola .....	27
<b>Tabla 4.</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....	28
<b>Tabla 5.</b> Ubicación geográfica del domicilio en coordenadas UTM .....	30
<b>Tabla 6.</b> Animales predominantes en la zona de estudio. ....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio .....	31
<b>Figura 2.</b> Diseño e implementación de sistemas para tratar agua gris domiciliaria: Recolección y Remoción de lodos y grasas del agua gris domiciliaria.....	35
<b>Figura 3.</b> Registro semanal de producción de aguas grises .....	36
<b>Figura 4.</b> Introducción de <i>Lemna minor</i> en estanques de reproducción y producción: a) Estanque de reproducción; b) Siembra y desarrollo en estanque de producción .....	37
<b>Figura 5.</b> Evolución de la densidad de <i>Lemna minor</i> en el estanque eutrofizado .....	38
<b>Figura 6.</b> Conductividad Eléctrica (CE) del agua gris domiciliar .....	39
<b>Figura 7.</b> Concentración de nutrientes N y P en el agua gris domiciliar rural.....	40
<b>Figura 8.</b> Eficiencia de remoción de nutrientes con <i>Lemna minor</i> .....	41

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

### **1.1. Título del proyecto:**

“EUTROFIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS CON ABSORCIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO Y FÓSFORO, SECTOR SAN JOSÉ DE PICHUL, PERÍODO 2021 – 2022”

### **1.2. Lugar de ejecución:**

Sector San José de Pichul - Parroquia Once de Noviembre

### **1.3. Institución, Facultad y Carrera que auspicia:**

Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Ingeniería Ambiental (CARRERA)

### **1.4. Equipo de Investigación:**

Tutor: Ing. Oscar René Daza Guerra, M.Sc. (Tutor)

Guanin Pallasco Leysvin Camila (Estudiante)

Reatiqui Chiluisa Diana Nataly (Estudiante)

M.Sc. Jose Luis Agreda.(Lector 1)

M.Sc. Jaime Lema Pillalaza (Lector 2)

M.Sc. Jose Andrade Valencia (Lector 3)

### **1.5. Área de conocimiento:**

Ambiente

### **1.6. Línea de investigación:**

Análisis, Conservación y Aprovechamiento de la Biodiversidad Local

### **1.7. Sublínea de investigación por carrera**

Sostenibilidad Ambiental

### **1.8. Línea de vinculación CAREN**

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

## 2. JUSTIFICACIÓN

A nivel global y regional, las aguas grises son aguas residuales generadas por las actividades domésticas como el lavado de ropa, manos, cocina, etc. En consecuencia, Sandoval & Fernández (2020) explican que la descarga de estos efluentes de forma directa hacia cuerpos de agua se transforman en un considerable problema ambiental, debido a su composición que altera la calidad del agua, generando un desequilibrio a nivel biológico, con fenómenos como la eutrofización. Por ende, para contrarrestar este problema, las grandes urbes utilizan alternativas convencionales de depuración como las plantas de tratamiento; mientras tanto, en el área rural se descargan en fosas sépticas o en las quebradas y ríos (Iridra, 2018). Una recomendación importante en el tratamiento de aguas a escala rural es la segregación para reducir las descargas de aguas grises hacia las fosas sépticas.

En añadidura, a escala provincial, en Cotopaxi existe una baja pluviosidad y problemas de escasez de agua, que no abastecen el desarrollo de una agricultura familiar sostenible, resaltando una problemática que debe ser abordada desde la recuperación de aguas grises y los nutrientes que esta alberga. De acuerdo a Bradley & Bartram (2013), la inclusión de metodologías para la recuperación de agua gris propone técnicas alternativas que sean aplicables a escala rural y posibiliten la participación y empoderamiento de la comunidad en el manejo y tratamiento del agua residual. No obstante, menciona que es necesario desplegar también sistemas de remoción de grasas y oxigenación activa, para alcanzar la restauración de las características adecuadas del agua para riego de producción agrícola y reforestación.

Finalmente, la importancia de evaluar la eutrofización mediante absorción biológica en el sector de san José de Pichul, surgió al no contar con un sistema de alcantarillado y la gestión deficiente de aguas grises. Por ello, se aportó con el diseño e implementación de un sistema de fitoremediación para absorción de nutrientes eutrofizantes (nitrógeno y fósforo) en el agua gris domiciliaria, estos últimos fueron cuantificados para evaluar la eficiencia del sistema implantado. Con la reutilización de estos efluentes residuales domiciliarios se brindó una alternativa de tratamiento viable económicamente en comparación con las convencionales, y en la producción de una especie fitorremediadora utilizada en el forraje y alimentación de ganado.

### 3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

La familia beneficiada de este proyecto de investigación, está conformada por 4 personas, 2 hombres y 2 mujeres, además, el total de personas beneficiadas indirectamente en la parroquia Once de Noviembre son 2398 habitantes, contemplando 1300 mujeres y 1098 hombres (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Beneficiarios del proyecto*

	<b>Lugar</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
<i>Directos</i>	<i>Domicilio Estudiado</i>	2	2	4
<i>Indirectos</i>	<i>Parroquia Once de Noviembre</i>	1098	1300	2398

**Fuente:** (INEC, 2010)

#### 4. PROBLEMA DE INVESTIGACION

Las aguas grises por su deficiente manejo afectan mayoritariamente a las poblaciones rurales, a estas pertenece el domicilio en estudio, sobresaliendo un problema en el ámbito social como es la generación de malos olores en quebradas, ríos, etc. Además, los impactos que generan estos residuos contemplan la desertificación de suelos, contaminación de aguas subterráneas y aire. A esto se suma el vertido directo sin previo tratamiento de estas aguas, por parte de las personas, hacia cuerpos de agua, provocando la pérdida de flora y fauna, debido a su composición química. De acuerdo a la UNESCO (2015), las aguas grises son las aguas residuales domésticas de duchas, lavabos de manos, lavandería, lavadoras, cocina, excluyendo los desechos de inodoros y los desechos de alimentos derivados de molinos de basura, que se consideran aguas negras. El volumen de aguas grises domésticas es del 50-80% del efluente domiciliario, con un 18-22% de potasio (K), 20-32% de fósforo (P) y 9-14% de nitrógeno (N), por lo que se puede reutilizar después de un tratamiento simple.

En añadidura, al deficiente manejo de las aguas grises domiciliarias a escala rural, se agrega la escasez de agua como uno de los desafíos más importantes a nivel global y regional. Según Filali et al., (2022), la distribución desigual de las precipitaciones y las temperaturas en estos países son los factores clave de un desequilibrio entre el suministro y la demanda de agua. La prevista escasez física de agua, provocará un déficit en la producción de alimentos. También, el crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización y el aumento de la producción han incrementado el aumento económico tanto en los modelos de consumo como en el uso del agua, con un probable crecimiento significativo en las dos próximas décadas (WWDR, 2018).

El trabajo planteado, se enfocó en implementar un sistema de fitorremediación de aguas grises aplicado a un entorno domiciliario individual para absorción de nutrientes eutrofizantes. Se investigó el potencial de *Lemna minor* inoculada en estanques del sistema para mejorar los parámetros de calidad de las aguas grises antes de la descarga en el medio. La investigación evaluó la eficiencia de remoción de nitrógeno y fósforo, aportando con una alternativa viable técnica y económicamente, para tratar aguas domiciliarias en una zona rural de Latacunga, brindando una solución eficiente ante la falta de un sistema de tratamiento de aguas grises domésticas.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo General**

Evaluar la eutrofización de aguas residuales domiciliarias con absorción biológica de nitrógeno y fósforo (N y P), sector San José de Pichul, Período 2021 – 2022.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Implementar un sistema de fitoremediación para la absorción y cuantificación de nutrientes eutrofizantes (Nitrógeno y Fósforo).
- Analizar el contenido de nutrientes eutrofizantes (N y P), provenientes de las aguas grises domiciliarias.
- Determinar la eficiencia de remoción de N y P utilizando *Lemna minor* en el agua gris domiciliaria.

## 6. Actividades y Sistema de Tareas en Relación con los Objetivos

Tabla 2

Matriz de actividades por objetivos

OBJETIVOS	ACTIVIDADES	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
<b>Implementar un sistema de fitoremediación para la absorción y cuantificación de nutrientes eutrofizantes (Nitrógeno y Fósforo)</b>	Cuantificar la producción domiciliar de aguas grises.	Cantidad de agua gris producida.	Registro de medición en matrices.
	Dimensionar y elaborar los estanques para el tratamiento.	Medición y construcción del estanque de tratamiento de agua.	Registro fotográfico matrices.
	Introducir la especie fitorremediadora <i>L. minor</i> en el sistema implementado	Siembra de <i>Lemna minor</i>	Registro fotográfico.
<b>Analizar el contenido de nutrientes eutrofizantes (N y P), provenientes de las aguas grises domiciliarias.</b>	Muestreo de agua residual sin tratamiento.	Toma de muestra de acuerdo con el protocolo del laboratorio.	Muestras etiquetadas
	Determinar el contenido de N y P en el agua gris residual sin tratamiento.	Contenido N y P del agua eutrofizada.	Resultados de análisis de laboratorio.
	Determinar el contenido de N y P en el agua gris tratada.	Contenido N y P del agua eutrofizada	Resultado de análisis de laboratorio.
<b>Determinar la eficiencia de remoción de N y P utilizando <i>Lemna minor</i> en el agua gris domiciliaria.</b>	Análisis de los resultados del laboratorio.	Comparación de resultados (Porcentaje de remoción)	Tablas, gráficos y discusión.
	Cálculo de eficiencia de remoción de nutriente eutrofizantes.	Cálculo de eficiencia (Porcentaje).	Tablas, gráficos y discusión

## 7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 7.1. Aguas grises domiciliarias

Según Torrella, (2021) se definen como aguas grises, a las aguas residuales procedentes de duchas, bañeras y lavamanos, éstas presentan un bajo contenido en materia fecal. Si bien las aguas de cocinas y lavadoras también son aguas grises, éstas, generalmente, no se reciclan debido a la elevada contaminación que contienen. Estas aguas habitualmente están compuestas por materia orgánica e inorgánica y microorganismos. Complementando, la liberación de estas aguas domiciliarias aumenta la concentración de nutrientes como nitrógeno y fosforo, que de acuerdo a Fernández et al., (2018), determinan cambios significativos en la estructura acuática vegetal, provocando que algunos micrófitos se comporten de manera intolerante frente a nuevas condiciones; mientras que, otras especies muestran una mayor adaptación, por ejemplo la *Lemna minor*.

Por otra parte, existe un enfoque de reutilización de aguas grises en campos como la agricultura, los nutrientes contenidos en estas aguas, principalmente N y P, pueden mejorar el crecimiento de plantas seleccionadas (*L. minor*), en lugar de contaminar el medio ambiente acuático, y requieren solo algunas operaciones de tratamiento simples a través de procesos menos costosos. Estos nutrientes se originan a partir de detergentes y productos químicos utilizados en cocinas, lavavajillas o lavadoras.

Cabe resaltar que en muchas regiones del mundo, especialmente donde las fuentes de agua no están disponibles, el incentivo económico para la reutilización es sustancial. Por ejemplo, los autores Chen et al., (2020) manifiestan que en países como Italia, Malta, Kuwait, España, Alemania, Estados Unidos o Jordania, las aguas grises tratadas ya se utilizan para el riego. Se estima que 20 millones de agricultores en todo el mundo utilizan aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas.

### 7.2. Origen y características de las aguas grises

El origen y la composición de las aguas grises dependen del estilo de vida, la estructura de la población, la disponibilidad de agua y las condiciones climáticas, que son diferentes de un país a otro. Las cantidades de aguas grises varían de 90 a 120 litros por día (lpd) en casas con sistema de suministro de agua. El promedio de generación de aguas grises por entorno doméstico es de 110 lpd: 80 lpd de baño, lavado de ropa y lavabos; y 30 lpd de

aguas grises de cocina. Las aguas grises consisten en una amplia gama de materiales orgánicos, metales pesados y *E. coli* (Oteng-Peprah et al., 2018).

Las características de las aguas grises dependen esencialmente de la calidad del agua:

Pabón Guerrero et al., (2020), expresan que el agua gris utilizada para el suministro inicial, además del tipo de hábitat, el número y el estado sanitario de los ocupantes, la fuente y los volúmenes de agua recolectados, los tratamientos utilizados y las condiciones de almacenamiento pueden influir en las características de las aguas grises. Estos elementos varían para cada país, teniendo en cuenta las diferencias en el clima y la demografía. Las variaciones temporales en aguas grises en la misma área pueden deberse a un cambio en el comportamiento del habitante o a un uso específico de un producto.

Además, antes de plantearse el reciclaje de aguas grises, se deben caracterizar sus propiedades físicas, químicas, biológicas y microbiológicas. Generalmente, el pH es ligeramente alcalino para las aguas grises de las lavadoras y, en menor medida, para las aguas grises de los baños. Los sólidos suspendidos totales (SST) y la turbidez en aguas grises son heterogéneos: el agua que proviene de los baños tiene concentraciones de SST más bajas que la de la lavadora. Las concentraciones de demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y nutrientes (nitrógeno y fósforo) son más altas en el agua de lavado de ropa. Esta diferencia se debe a los detergentes que contienen productos de carbono y fosfato, especialmente en países donde su uso aún no está prohibido (Sánchez & Irigoín, 2021). A continuación se describen los tipos de riesgos encontrados al reutilizar aguas grises:

### **7.2.1. Riesgos ambientales**

La reutilización de aguas grises está limitada por la concentración de sustancias químicas y microbiológicas. Las aguas grises sin tratamiento provenientes de los domicilios poseen una elevada concentración de compuestos con efectos perjudiciales en todo el medio ambiente. También, la actividad microbiana del suelo puede verse afectada al reutilizar estas aguas para el crecimiento de las plantas. A largo plazo, este líquido residual doméstico también puede aumentar la alcalinidad del suelo, la tasa de adsorción de sodio y la conductividad eléctrica (Sánchez & Irigoín, 2021; Winpenny et al., 2013).

### **7.2.2. Riesgos sanitarios**

En gran medida, estos riesgos se ven acrecentados de acuerdo al tipo de tratamiento aplicado, la fuente de patógenos y las vías de exposición. Los autores Núñez et al., (2013) señalan que los métodos cuantitativos de evaluación del riesgo microbiano (QMRA) han determinado que las condiciones de desarrollo de *Salmonella* en los sedimentos aumentaron la probabilidad de infección en 1000 veces, pero en comparación al riesgo de infección por rotavirus es mucho menor. También, indican el efecto de las aguas grises en el riego de cultivos, específicamente en la variedades *Beta vulgaris Cicla* (Acelga) y *Daucus carota* (zanahoria), estos fueron un aumento de la salinidad y la sodicidad en el suelo, junto con altas concentraciones de metales pesados. Los microorganismos patógenos y no patógenos presentes en las aguas grises, pueden multiplicarse debido a la composición y siempre que estén estrictamente segregadas de las aguas negras albergarán bajos niveles de contaminación fecal. La ingesta de estos patógenos presentes en aguas grises causan enfermedades gastrointestinales, además, es posible la inhalación como gotas de agua o aerosoles provocando infecciones respiratorias; otros efectos incluyen infecciones de la piel o de las membranas mucosas sanas o dañadas. Finalmente, existen algunas bacterias que producen sustancias como las endotoxinas, que pese a no haber un amplio estudio sobre su impacto en la salud constituyen un posible riesgo sanitario.

### **7.2.3. Riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 a través de aguas grises**

A pesar de las prácticas y campañas de desinfección efectuadas por usuarios del agua reciclada, existe un margen de riesgo para la salud relacionado con la contaminación microbiana. De lo anterior, surge una preocupación de coyuntura global sobre las consecuencias de la pandemia de COVID-19 (virus SARS-CoV-2) en la composición de las aguas grises, lo que puede empeorar el riesgo para la salud asociado a la reutilización de esta agua. De hecho, varios estudios han identificado una gran similitud (hasta el 82%) de este virus con el del SARS-CoV-1, que apareció en 2003. Éste ha demostrado su capacidad de propagación en los sistemas de saneamiento. Varios estudios han sugerido que la infección por SARS-CoV-1 fue causada por la inhalación de aerosoles creados en sistemas de plomería defectuosos y descargas de inodoros. Por lo tanto, las aguas residuales se han definido como una ruta de contaminación indirecta con SARS-CoV-1. Entonces, estudios intensivos han demostrado que el SARS-CoV-2 puede ingresar a los sistemas de saneamiento a través de excreciones humanas, como heces, orina, saliva, etc.,

y la propagación del virus a través de la vía fecal/oral se ha vuelto altamente probable. De hecho, los trastornos gastrointestinales se consideraron entre los síntomas clave de la infección por SARS-CoV-2, donde el 80% de los pacientes afectados por COVID-19 tenían diarrea, estreñimiento y vómitos. Los estudios han confirmado la detección de ARN del SARS-CoV-2 en el 66,67% de las muestras de heces de pacientes con síntomas gastrointestinales. Además, no es solo para estos pacientes, sino que también se observó la diseminación de ARN del SARS-CoV-2 en pacientes asintomáticos. El ARN del SARS-CoV-2 se ha encontrado en muestras de heces incluso después de la recuperación de una infección respiratoria. Otros trabajos han demostrado que el virus SARS-CoV-2 se ha encontrado en aguas residuales de varios países, como Estados Unidos, Suecia, Países Bajos, Israel, etc. Esto significa que incluso las aguas grises de las áreas donde se encuentran los pacientes con COVID-19 podrían ser una fuente potencial para que el virus se propague, así como su transmisión. La contaminación de las aguas grises con SARS-CoV-2 es una preocupación importante, ya que puede amenazar la salud humana y ambiental, especialmente en países que permiten el uso de aguas grises sin ningún tratamiento, como en Bangladesh, Pakistán e Irán, donde el riego con aguas residuales no tratadas es una práctica común en áreas urbanas, periurbanas y jardines. Además, en comparación con las aguas residuales, podemos decir que las aguas grises tienen más probabilidades de propagar el coronavirus, debido al simple tratamiento al que se somete, por un lado, y la gran cantidad de aguas grises producidas durante la pandemia de COVID-19, por otro lado. En conclusión, una de las mejores maneras de prevenir y romper la cadena de infección de COVID-19 es lavarse las manos con agua y jabón varias veces durante el día. Este requisito aumenta la producción de aguas grises (Barreto Torrella, 2021).

### **7.3. Sistemas de recuperación de aguas grises**

La caracterización de las aguas grises y su comparación con las aguas residuales domésticas han demostrado la ventaja de reciclar esta categoría de agua. Los procesos de reciclaje de aguas grises se basan, en general, en los procesos convencionales para el tratamiento de aguas residuales domésticas, urbanas e industriales. Por lo tanto, al igual que en el campo del tratamiento de aguas residuales, los sistemas de tratamiento de aguas grises constituyen con mayor frecuencia un sector de tratamiento. Generalmente, los procesos de tratamiento físico (filtros de arena, filtros de carbón activado, filtros de membrana, etc.), químicos (coagulación, intercambio iónico, cloración, etc.) y biológicos

(marismas filtrantes, RBC, SBR y manta de lodos) de aguas grises están precedidos por un pre tratamiento (tamizado, decantación) para reducir las tasas de carga de partículas de aceites y grasas y funcionar como una cuenca de regulación / homogeneización del flujo de la carga de contaminación de aguas grises no tratadas. Se han evaluado varios estudios relativos a alternativas y métodos de recuperación de aguas grises tratadas en función de las características de las aguas grises, su normalización, directivas y recomendaciones vigentes. En general, todos los tipos de aguas grises han mostrado una buena biodegradabilidad. Las aguas grises de los baños y las lavadoras son deficientes en nitrógeno y fósforo, mientras que las aguas grises de las cocinas tienen una relación N: P equilibrada. Estas investigaciones también mostraron que los procesos físicos de tratamiento de aguas grises no son suficientes. Para garantizar una reducción adecuada de la materia orgánica, los nutrientes y los tenso-activos, un proceso químico puede reducir eficazmente los sólidos en suspensión, la materia orgánica y los tenso-activos de las aguas grises. La combinación de procesos biológicos aeróbicos con filtración física y desinfección se ha considerado como la solución más económica y práctica para reciclar las aguas grises de los edificios residenciales urbanos colectivos. La selección de un proceso de recuperación de aguas grises, así como su dimensionamiento, depende de los flujos y la composición de las aguas grises a tratar, el alcance del proceso de aplicación y la calidad de las aguas grises tratadas requeridas por las regulaciones, directrices y normas aplicables (Filali et al., 2022).

### **7.3.1. Sistemas físicos**

Estos métodos de tratamiento se utilizan con mayor frecuencia en combinación con otro método, como la desinfección y la adsorción en carbón activado:

El filtro de arena es una tecnología simple, fácil de implementar y económica. Algunos autores utilizan, además o en lugar de arena, otros materiales, como el carbón activado. Estos autores han mostrado los límites del rendimiento de los filtros de arena en la recuperación de aguas grises. Este proceso físico solo proporciona filtración gruesa y permite un tratamiento limitado. Entre un 15 % y un 25 % de eliminación de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) de aguas grises. Asimismo un estudio expuso que los valores de Demanda Biológica de Oxígeno para 5 días ( $DBO_5$ ), DQO, SST y nitrógeno total (NT) de las aguas grises de los fregaderos de cocina se redujeron de 477 mg / L, 271 mg / L, 105 mg / L y 20.7 mg / L a 81 mg / L, 40.6

mg / L, 23 mg / L y 4.4 mg / L, respectivamente, por un sistema de filtración del suelo. Este sistema de tratamiento de aguas grises es capaz de eliminar parcialmente los contaminantes orgánicos y particulado, así como los nutrientes de nitrógeno y fósforo. La calidad de las aguas grises tratadas obtenidas ha demostrado que el material orgánico y la materia en suspensión siguen siendo altos, y esto puede limitar el proceso de desinfección química. El mejor rendimiento del tratamiento de aguas grises con un filtro de carbón activo fue capaz de lograr el 98%, 97% y 94%, respectivamente, para la reducción de nitrógeno total, DBO<sub>5</sub> y DQO (Bradley & Bartram, 2013).

También, Oteng-Peprah et al., (2018) han logrado una reducción de  $4 \log^{10}$  en el total de coliformes mediante un sistema de filtración seguido de desinfección. Se ha informado de filtración de arena combinada con adsorción y desinfección de carbón activado para el tratamiento de aguas grises y se ha revelado cierta mejora en la reducción de sólidos en suspensión y turbidez. Sin embargo, una reducción en la carga microbiana es limitada. Las diferencias observadas en los distintos estudios pueden explicarse por las características de las aguas grises específicas de una vivienda o por las características del filtro utilizado (carga aplicada, velocidad de filtración, propiedades de los materiales filtrantes, etc.). Con el fin de limitar los riesgos ambientales y de salud, se ha recomendado el uso de aguas grises, después de los tratamientos, solo para los inodoros, debido a las incertidumbres sobre los resultados de riesgo. Estudios han confirmado que el uso de aguas grises del baño y lavado de ropa es seguro para descargar inodoros e irrigar cultivos de alimentos después del tratamiento de microfiltración. Si se considera la reutilización de aguas grises para el riego de espacios verdes, normalmente es necesario elegir un tratamiento avanzado que permita obtener un efluente de mejor calidad. Por ejemplo, las técnicas de filtración por membrana aplicadas a la recuperación de aguas grises han sido muy estudiadas en los últimos años. Al comparar el rendimiento purificador de las membranas de ultrafiltración y nanofiltración, con la ultrafiltración, solo se obtuvo el 49% y el 94% de la reducción para la DQO y la turbidez, mientras que el 93% y el 98% se obtuvieron con nanofiltración. Se ha evaluado el rendimiento purificador de una membrana de ultrafiltración (tamaño de poro de 0,05  $\mu$  m) para el tratamiento de aguas grises. Este proceso de ultrafiltración permitió una reducción de la DBO<sub>5</sub> de 195 a 86 mg/L (56%), valores que no garantizan los límites estándar para la reutilización en aguas grises. Esta tecnología permite obtener agua con una calidad aceptable. De hecho, la retención casi total de moléculas permite obtener un permeado de calidad que cumple con

la mayoría de las normativas vigentes para la reutilización de aguas grises tratadas (Oteng-Peprah et al., 2018).

### 7.3.2. Sistemas Químicos

Los procesos químicos aplicados al tratamiento de aguas grises incluyen coagulación, electrocoagulación, oxidación foto catalítica, desinfección, etc. Estos principales procesos químicos parecen ser relativamente efectivos para la recuperación de aguas grises. Varios estudios han demostrado reducciones significativas en la carga orgánica (DQO y DBO<sub>5</sub>). Sychała et al., (2019) estudiaron el rendimiento de la electrocoagulación, seguida de una etapa de desinfección, para la recuperación de aguas grises. Los valores de DQO, DBO<sub>5</sub>, turbidez y SST en aguas grises disminuyeron de 55 mg/L, 23 mg/L, 43 NTU y 29 mg/L a 22 mg/L, 9 mg/L, 4 NTU y 9 mg/L, respectivamente. Para los parámetros microbiológicos, no detectó *E. coli* en aguas grises. Se reportan reducciones de 4 log<sup>10</sup> para coliformes totales y *E. coli* utilizando un sistema de electrocoagulación acoplado a un biorreactor de membrana. Procesos de coagulación y resina de intercambio iónico se aplicaron para la recuperación de aguas grises de las duchas. En condiciones óptimas, la coagulación con sal de aluminio reduce la DQO de 791 a 287 mg/L, la DBO<sub>5</sub> de 205 a 23 mg/L, la turbidez de 46,6 a 4,28 NTU, el NT de 18 a 15,7 mg/L y los ortofosfatos de 1,66 a 0,09 mg/L. Además, los coliformes totales, *E. coli* y enterococos fecales en las aguas grises recuperados son todos inferiores a 1 UFC/100 ml. Estos investigadores también han demostrado que es posible reducir la DBO<sub>5</sub>, la turbidez, el nitrógeno total y los ortofosfatos a 33 mg / L, 8.14 NTU, 15.3 mg / L y 0.91 mg / L, respectivamente, mediante el uso de resinas de intercambio iónico en su proceso de tratamiento. El total de coliformes y *E. coli* en las aguas grises recuperados fue de 59 UFC/100 ml y 8 UFC/100 ml, respectivamente. Un proceso de oxidación avanzada basado en la oxidación fotocatalítica con la combinación de dióxido de titanio y UV para el tratamiento de aguas grises ha demostrado su prueba en la eliminación del 90% de la materia orgánica y 6 log<sup>10</sup> en la reducción de coliformes totales.

### 7.3.3. Sistemas Biológicos

Los procesos biológicos son los tratamientos a gran escala más comunes utilizados para tratar las aguas grises:

Estos procesos pueden operar aeróbicamente, anaeróbicamente o en un proceso combinado. Algunos estudios presentan diferentes resultados relacionados con la realización de procesos biológicos con biomasa suspendida y fija, y en el caso del uso de biofiltros para la recuperación de aguas grises. Otterpohl et al. (1999) recomendaron el uso de procesos de biomasa fija en lugar de procesos de biomasa suspendidos, considerando la complejidad del proceso y el espacio utilizado. Además, el uso de un proceso de biomasa fija permite aumentar la biomasa total en el reactor y, en consecuencia, mejorar el rendimiento del tratamiento. Un estudio realizado por Elmitwall et al. (2007) manifestó una reducción en la DQO, el nitrógeno total, total (NT) y el fósforo total (FT), alcanzando respectivamente el 31%, 24% y 39% con un lecho de lodo. Baban et al. (2010) indicaron reducciones del 94% para SST, 86% DBO<sub>5</sub>, 95% DQO 88% NT, 71% para PTP y 100% para turbidez mediante el uso de un reactor por lotes secuenciado (RBC SBR) proceso biológico. En cuanto a la parte microbiológica, la reducción de coliformes totales por este proceso biológico fue de sólo 1 log<sup>10</sup>. Por lo tanto, es útil agregar un tratamiento de desinfección para reducir la carga microbiana.

Lamine et al. (2007) evaluó el rendimiento de un reactor por lotes secuenciado (SBR) para el tratamiento de aguas grises. Los resultados encontraron reducciones del 30% de SST, 93% de DBO<sub>5</sub>, 88% de DQO y 96% respectivamente en la turbidez de las aguas grises. La recuperación de aguas grises a través de un biorreactor de membrana (MBR) también se consideró como una tecnología innovadora, dada la estabilidad del proceso y su potencial para eliminar patógenos. Lin et al., (2005) notificó que los valores de DQO, DBO<sub>5</sub> y tenso-activos aniónicos disminuyeron de 322 a 18 mg/L, de 221 a menos de 5 mg/L, y de 8 o 9 mg/L a menos de 0,5 mg/L en promedio en el permeado. Otras investigaciones mostraron que la manta de lodos anaeróbicos de flujo ascendente (proceso biológico UASB) permitió una reducción del 31% al 41% de la DQO total, del 24 al 36% del NT y del 10 al 24% del FT. Los procesos de filtrado biológico se han considerado los tratamientos más respetuosos con el medio ambiente, de bajo costo y efectivos para las aguas grises. Los estudios de la literatura relacionados con el uso del filtro biológico han mostrado rendimientos interesantes, particularmente en términos de DBO<sub>5</sub>, SST y eliminación de turbidez. Gross et al. (2007) observaron una reducción de más del 89% y 96%, respectivamente, para SST y DBO<sub>5</sub>. Desde un punto de vista microbiológico, Dallas et al. (2004) encontraron que es posible reducir la carga de coliformes totales en 6 log<sup>10</sup>, mientras que Travis et al. (2010) pudieron reducir esta misma carga solo a 3 log<sup>10</sup>. En

cuanto al mantenimiento, estos procesos de filtro requieren poco mantenimiento y por lo tanto tienen un bajo costo operativo. El mantenimiento de la planta debe llevarse a cabo mediante corte, así como limpieza, cada 5 a 10 años para eliminar los lodos acumulados en el fondo de la laguna. Además, estos procesos tienen la ventaja de integrarse en el paisaje y contribuir a la diversificación de la fauna y la flora.

#### **7.3.4. Sistemas híbridos**

Otros procesos híbridos considerados como tecnologías innovadoras, como los biorreactores de membrana solos o asociados con la filtración por membrana (nanofiltración (NF) o ultrafiltración (UF)), o los procesos de biofiltro aireados solos o asociados con marismas filtrantes, se han probado para la recuperación de aguas grises. El rendimiento general de estos procesos es muy satisfactorio, ya que el acoplamiento de los dos procesos garantiza la purificación fisicoquímica y microbiológica. Algunas investigaciones revelaron reducciones importantes superiores al 95%, 75%, 93% y 85% para la turbidez, SST, DBO<sub>5</sub> y DQO. En cuanto a los tenso-activos, las reducciones obtenidas por los procesos BRM/UF y por los procesos de biofiltro aireado son superiores al 95%. Sólo el fósforo total parece ser difícil de reducir. La reducción de fósforo por los procesos BRM/NF y por los procesos de biofiltro aireado acoplados a las marismas filtrantes fue, respectivamente, del 31% y 61%. A nivel microbiológico, estos procesos híbridos (BRM/UF) parecen ser eficientes, con la reducción regular de coliformes fecales de 4 log<sup>10</sup>. A expensas de mejorar la calidad de las aguas grises a través de procesos físicos y biológicos híbridos, también hay un aumento significativo en el costo de producción de las aguas grises tratadas.

#### **7.4. Huella de aguas grises**

La huella hídrica gris (GWF, por sus siglas en inglés) es un indicador del volumen de agua necesario para asimilar una carga contaminante que llega a un cuerpo de agua, esta herramienta una ayuda para evaluar el uso sostenible, eficiente y equitativo de los recursos hídricos. La aplicación del GWF por diferentes partes interesadas (desde empresas hasta ONG ambientales e instituciones gubernamentales) ha expuesto su diversa utilidad como indicador para la gestión de los recursos hídricos. El GWF se define como parte del estándar global de huella hídrica. El GWF de un producto dependerá de los GWF de los

diferentes pasos de su cadena de producción y suministro completa. Se basa en las concentraciones de fondo natural y los estándares de calidad del agua ambiental existentes. El Manual de Evaluación de la Huella Hídrica recomienda un enfoque de tres niveles para estimar las cargas de contaminación difusa que ingresan a un cuerpo de agua. El enfoque de tres niveles fue el resultado del Grupo de Trabajo sobre la Huella Hídrica Gris de la Red de Huella Hídrica (WFN) en 2010 y es análogo al enfoque por niveles propuesto por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero. Del nivel 1 al 3, la precisión de la estimación de la carga que alcanza un cuerpo de agua aumenta, pero la viabilidad de llevar a cabo el análisis disminuye debido a la creciente demanda de datos (Zhao et al., 2019).

## **7.5. Eutrofización**

La eutrofización puede definirse como el enriquecimiento inorgánico de nutrientes de las aguas naturales, lo que lleva a una mayor producción de algas y macrófitas:

Según Bermúdez, (2016), manifiesta que muchos lagos son naturalmente eutróficos y en algunos casos hay una eutrofización progresiva a medida que el lago madura. El término eutrofización es más ampliamente conocido en relación con las actividades humanas donde la introducción artificial de nutrientes vegetales ha llevado a cambios en la comunidad y un deterioro de la calidad del agua en muchos sistemas de agua dulce. Este aspecto se ha vuelto cada vez más importante con el aumento de la población humana y el desarrollo más extenso de la agricultura y la eutrofización ahora se clasifica con otros efectos antropogénicos importantes como la deforestación, el agotamiento de la capa de ozono por calentamiento global y la perturbación ambiental a gran escala en relación con su efecto potencialmente dañino en los ecosistemas naturales. Los ecosistemas acuáticos son los hogares de varias formas de vida vegetal y animal, tanto simples como complejos. El proceso de eutrofización destruye el equilibrio en estos ecosistemas al favorecer el crecimiento de la vida vegetal simple. Esto disminuye en gran medida la biodiversidad del ecosistema al matar a varias especies deseables.

### **7.5.1. Causas de la eutrofización**

La disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo limita el crecimiento de la vida vegetal en un ecosistema:

Cuando los cuerpos de agua están excesivamente enriquecidos con estos nutrientes, se favorece el crecimiento de algas, plancton y otras plantas simples sobre el crecimiento de plantas más complejas. El fósforo se considera uno de los principales factores limitantes para el crecimiento de la vida vegetal en los ecosistemas de agua dulce. Varias fuentes también afirman que la disponibilidad de nitrógeno es un factor limitante importante para el crecimiento de las algas. Los fosfatos tienden a adherirse al suelo y son transportados junto con él. Por lo tanto, la erosión del suelo es uno de los principales contribuyentes al enriquecimiento de fósforo de los cuerpos de agua. Algunas otras fuentes ricas en fósforo que enriquecen los cuerpos de agua con el nutriente incluyen fertilizantes, aguas residuales no tratadas, detergentes que contienen fósforo y vertido de residuos industriales. Entre estas fuentes, los principales contribuyentes a la eutrofización incluyen la agricultura y los desechos industriales. El crecimiento excesivo de algas en aguas eutróficas va acompañado de la generación de una gran biomasa de algas muertas. Estas algas muertas se hunden hasta el fondo del cuerpo de agua, donde las bacterias las descomponen y consumen oxígeno en el proceso. El consumo excesivo de oxígeno conduce a condiciones hipóxicas (condiciones en las que la disponibilidad de oxígeno es baja) en el agua. Las condiciones hipóxicas en los niveles más bajos del cuerpo de agua conducen a la asfixia y eventual muerte de formas de vida más grandes como los peces (Espinel, 2018).

## **7.5.2. Clasificación de la eutrofización**

### **7.5.2.1. Eutrofización antropogénica**

La eutrofización antropogénica es causada por la actividad humana:

Según Paredes Losada, (2020), las granjas agrícolas, los campos de golf, los céspedes, etc. reciben nutrientes de los humanos en forma de fertilizantes. Estos fertilizantes son arrastrados por las lluvias y eventualmente encuentran su camino hacia cuerpos de agua como lagos y ríos. Cuando se introducen en un ecosistema acuoso, los fertilizantes suministran abundantes nutrientes a las algas y al plancton, lo que provoca la eutrofización de la masa de agua. La sobrepoblación humana impone una enorme demanda de expansión industrial y agrícola, lo que a su vez conduce a la deforestación. Cuando esto ocurre, el suelo se erosiona más fácilmente, lo que da como resultado un aumento de los depósitos de suelo en los cuerpos de agua. Si el suelo es rico en fósforo, puede provocar eutrofización y dañar gravemente el ecosistema dentro y alrededor del

cuerpo de agua. Cuando las tuberías de aguas residuales y los desechos industriales se dirigen a los cuerpos de agua, los nutrientes presentes en las aguas residuales y otros desechos aumentan la velocidad a la que se produce la eutrofización.

#### **7.5.2.2. Eutrofización Natural**

La eutrofización natural se refiere al enriquecimiento excesivo de cuerpos de agua a través de eventos naturales:

Según Bermúdez (2016), los nutrientes de la tierra pueden ser arrastrados por una inundación y depositados en un lago o río. Estos cuerpos de agua se enriquecen demasiado con nutrientes, lo que permite el crecimiento excesivo de algas y otras plantas simples. El proceso de eutrofización natural es mucho más lento en comparación con el proceso de eutrofización antropogénica. Este proceso también depende un poco de la temperatura del ambiente. Incluso puede complementarse con los cambios de temperatura provocados por el calentamiento global.

#### **7.5.3. Efectos de la eutrofización**

La eutrofización resulta en cambios físicos, químicos, biológicos y ecológicos en los cuerpos de agua:

Los autores Khan & Ansari, (2005), indican que los estudios sobre la eutrofización han revelado que los aportes de nutrientes en las partes menos profundas y cálidas de los lagos están más severamente alterados. El enriquecimiento de nutrientes en un cuerpo de agua acelera su proceso de envejecimiento y conduce a una sucesión más rápida. Se ha informado que alrededor de 400 g de fosfato promueven una floración de algas en la medida de 350 toneladas. La revisión de la literatura reveló que todos los lagos de agua salada y agua dulce en áreas densamente pobladas están bajo la amenaza directa de eutrofización. En uno de los lagos europeos, alrededor del 55% del fósforo provenía de fuentes metabólicas y el 45% de detergentes y productos de limpieza hasta 1960. Desde entonces, la población mundial ha aumentado considerablemente. El uso de fertilizantes a base de fósforo ha mostrado un patrón oscilatorio de aumento de 1959 a 1985 y estabilidad de 1985 a 1990, pero se informó que los detergentes aportan el 58% de la carga diaria de fósforo. Se ha establecido que los detergentes, la piel doméstica y los fertilizantes son las tres principales fuentes humanas de enriquecimiento de nutrientes en la eutrofización de los cuerpos de agua naturales. Es probable que los cuerpos de agua

ubicados cerca de las grandes ciudades reciban más fósforo de los efectos domésticos que contienen detergentes. Sin embargo, las masas de agua urbanas también reciben grandes cantidades de fósforo de fertilizantes y otras actividades relacionadas con la agricultura. La eutrofización de masas de agua más pequeñas reduce la capacidad de recarga de agua en estas áreas, por lo que es probable que las aguas subterráneas se agoten en parte debido a la eutrofización y en parte debido a la explotación a través del bombeo. La revisión muestra que el énfasis en los estudios de eutrofización ha estado en las áreas de estimación de las propiedades fisicoquímicas del agua, la diversidad de la flora y fauna acuática, las fuentes de fósforo y el ciclo del fósforo en algunos de los principales cuerpos de agua del mundo. Falta información sobre el resultado global de la eutrofización en términos de reducción del tamaño y la profundidad de las masas de agua. No hay información sobre si la eutrofización conduce a cambios en el cuerpo de agua que afectan directamente la tasa de transpiración.

Como se desprende del ciclo del fósforo, es necesario comprobar el aporte de fósforo de una de las dos fuentes: la erosión de las rocas de fosfato (una fuente natural) y las fuentes antropogénicas como los detergentes y los fertilizantes. El énfasis principal debe estar en el control de las entradas excesivas de fósforo de la fuente antropogénica. También se requiere un control de la erosión excesiva de las rocas fosfatadas, probablemente debido a la deforestación. El control biológico mediante fitorremediación, junto con la eliminación mecánica de sedimentos de la masa de agua, sería una medida de control eficaz. El agotamiento del recurso hídrico puede controlarse si se realizan esfuerzos a nivel internacional y de los gobiernos locales para adoptar medidas legislativas y desarrollar una alternativa de detergente sin fósforo. Los programas de sensibilización y educación a nivel gubernamental y de organizaciones no gubernamentales serían mucho más eficaces que las meras medidas legislativas (Bermúdez, 2016).

## **7.6. Soluciones Basadas en la Naturaleza para Recuperación de Aguas Grises**

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) pueden proteger, gestionar y restaurar ecosistemas naturales o modificados. Son un enfoque multidisciplinario e integrado para abordar los desafíos sociales y algunos peligros naturales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad. Las aplicaciones de NBS se pueden notar fácilmente en ciudades y entornos domésticos

circulares, estableciendo un sistema urbano que es regenerativo y accesible (Salvo Tierra et al., 2018).

### **7.6.1. Definición de Soluciones Basadas en la Naturaleza**

De acuerdo con el estándar global desarrollado por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) para soluciones basadas en la naturaleza, las SbN se definen como "Acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar los ecosistemas naturales o modificados, que abordan los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad". El propósito de las soluciones basadas en la naturaleza es "apoyar el logro de los objetivos de desarrollo de la sociedad y proteger el bienestar humano de una manera que refleje los valores sociales y culturales, al tiempo que mejora la resiliencia de los ecosistemas, su capacidad para innovar y proporcionar servicios y soluciones basadas en la naturaleza". Soluciones diseñadas para abordar los principales desafíos sociales, como la seguridad alimentaria, el cambio climático, la seguridad del agua, la salud humana, el riesgo de desastres y el desarrollo socioeconómico.

Los siguientes principios preliminares deben considerarse con la definición de SbN:

- SbN abarcan las normas (y principios) de conservación de la naturaleza;
- SbN se pueden implementar solo o de manera integrada con otras soluciones a los desafíos sociales (como soluciones tecnológicas y de ingeniería);
- Las SbN están determinados por contextos naturales y culturales específicos del sitio que incluyen conocimientos tradicionales, locales y científicos;
- SbN producirán beneficios sociales de una manera justa y equitativa de una manera que promueva la transparencia y la amplia participación;
- SbN mantienen la diversidad biológica y cultural y la capacidad de los ecosistemas para evolucionar con el tiempo; Los NbS se aplican a escala de paisaje;
- SbN reconocen y abordan las compensaciones entre la producción de unos pocos beneficios económicos inmediatos para el desarrollo y las opciones futuras para la producción de toda la gama de servicios de los ecosistemas; y,

- Sbn son una parte integral del diseño general de políticas, y medidas o acciones, para abordar un desafío específico.
- Sbn enfatiza las soluciones, y tales soluciones abordan las crisis ambientales multifacéticas y los desafíos sociales más amplios que afectan a la humanidad en la actualidad, incluidos el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación de la tierra, la salud humana, la migración, los peligros naturales y los desastres inducidos por el hombre, la seguridad alimentaria y del agua y los desequilibrios bioquímicos (Seddon et al., 2020).

### **7.7. Aplicaciones de *Lemna minor* para remoción de nutrientes**

La necesidad de reducir los nutrientes antropogénicos en los ecosistemas acuáticos para prevenir la eutrofización del agua ha sido ampliamente reconocida:

Como método ecológico, el cultivo de macrófitas acuáticas es atractivo para el alivio de nutrientes y la restauración de cuerpos de agua eutróficos. En comparación con otras plantas acuáticas, la lenteja de agua prolifera rápidamente y tiene una capacidad excelente para la absorción de nutrientes. Además, la lenteja de agua es capaz de crecer bajo una variedad de condiciones climáticas y es más fácil de cosechar que otros macrófitas. Contiene un alto contenido de proteínas, grasas, aminoácidos y almidón, la lenteja de agua cosechada se puede utilizar para la producción de alimentos para animales, fertilizantes y productos bioenergéticos. Debido a estas ventajas, la lenteja de agua se considera un candidato prometedor para la remediación del agua eutrófica. Además de N y P, la sal (principalmente cloruro de sodio) a menudo es traída a los cuerpos de agua por actividades antropogénicas como la escorrentía agrícola, la descarga industrial y doméstica. Se ha informado que el estrés salino induce daños oxidativos e inhibición de la fotosíntesis en lenteja de agua. También se observó que el estrés salino influye en la eliminación de contaminantes por lenteja de agua (Liu et al., 2016).

La distribución global, la tolerancia al amoníaco, los metales pesados, el alto rendimiento de la biomasa (especialmente a 20 – 30 ° C), la facilidad de cosecha, el alto contenido de proteínas y almidón, y una amplia gama de usos hacen que las lentejas de agua sean adecuadas para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias, agrícolas, municipales e incluso industriales. El ejemplo clásico de un sistema de tratamiento de lenteja de agua y aplicación de alimento sería la instalación de aguas residuales del

hospital Mirzapur Bangladesh, que fue diseñada por el grupo PRISM, monitoreada de 1989 a 1991. El grupo del profesor Zhao Hai del Instituto de Biología de Chengdu, Academia China de Ciencias, también tiene amplios registros de su planta piloto en el lago Dianchi, en Yunnan subtropical, China (Kaur & Kanwar, 2021).

La tecnología de fitoremediación adecuada necesita la recolección a intervalos de la biomasa vegetal para asimilar y confiscar metales pesados y nutrientes de los cuerpos de agua. La conversión de biomasa en material superior es un factor importante en la promoción de esta técnica. Muchos estudios han informado que las plantas acuáticas como la biomasa de lenteja de agua después de la fitoremediación se pueden utilizar como alimento para animales y en la producción de biogás. Se recomienda que la biomasa cosechada se pueda utilizar para el compostaje y como complemento de fertilizantes. La biomasa seca de *L. minor* generada durante la fitoremediación de hierro, sin otros metales tóxicos, podría ser un fertilizante importante para los suelos deficientes en hierro, que comprenden un tercio de los suelos del mundo. Se ha señalado que el alto contenido de agua de las plantas acuáticas impide el proceso de secado, compostaje o incineración. La lenteja de agua seca se puede utilizar como combustible directo para un incinerador de basura o una central eléctrica de carbón. Esto concentraría los metales pesados en el humo, que podría ser fregado, y las cenizas pueden ser eliminadas o encapsuladas adecuadamente para su reutilización en concreto o yeso (Alvarado, 2017).

## **8. VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS**

### **8.1. Preguntas Científicas**

**¿La introducción de la especie vegetal Lemna minor (Lenteja de agua) en aguas grises domiciliarias, sector San José Pichul, influyó en la concentración de nutrientes eutrofizantes (nitrógeno y fósforo)?**

Si, la introducción de la especie vegetal Lemna minor (Lenteja de agua) en aguas grises domiciliarias, permitió disminuir la concentración de nutrientes. Para nitrógeno se reporta una concentración inicial de 0,01 mg/l, la misma que después de 42 días de tratamiento de fitorremediación con Lemna minor, se redujo a 0,004 mg/l; de igual manera, se observó que el fósforo en su concentración inicial presentaba 14.7 ppm, reduciéndose a 0.27 ppm al final de la investigación.

**¿Cuál es la eficiencia al implementar un sistema de absorción biológico para reutilización del efluente residual domiciliar en el sector San José de Pichul?**

La determinación de la eficiencia en la absorción de nutrientes eutrofizantes N y P del agua gris domiciliar rural, realizada en el estanque de fitorremediación mediante Lemna minor, demostró resultados favorables. Se presentó una remoción del Nitrógeno Total que oscila alrededor del 60%; por otro lado, más promisorio es el resultado para el fósforo, que alcanzó una eficiencia del 98,16%.

## **9. BASE LEGAL**

### **9.1. CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

Decreto Legislativo 0 Registro Oficial 449 de 20-oct.-2008

#### **TÍTULO II: DERECHOS**

Capítulo segundo: Derechos del buen vivir

Sección primera: Agua y alimentación

**Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable.** El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida

#### **TÍTULO V: ORGANIZACION TERRITORIAL DEL ESTADO**

Capítulo cuarto: Régimen de competencias

**Art. 264.-** Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

#### **TÍTULO VI: RÉGIMEN DE DESARROLLO**

Capítulo quinto: Sectores estratégicos, servicios y empresas públicas

**Art. 318.-** El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

#### **TÍTULO VII REGIMEN DEL BUEN VIVIR**

Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales

Sección sexta: Agua

**Art. 411.-** El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y

el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR, (2008).

## **9.2. LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA (LORHUA)**

### **Ley 0 Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago.-2014**

#### **TÍTULO II: RECURSOS HÍDRICOS**

Capítulo II: Institucionalidad y gestión de los recursos hídricos

Sección Primera: Sistema Nacional Estratégico y Autoridad Única del Agua

##### **Art. 18.- Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua.**

1) Establecer mecanismos de coordinación y complementariedad con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo referente a la prestación de servicios públicos de riego y drenaje, agua potable, alcantarillado, saneamiento, depuración de aguas residuales y otros que establezca la ley.

Sección Cuarta: Servicios Públicos

**Art. 37.- Servicios públicos básicos.** Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso. La provisión de agua potable comprende los procesos de captación y tratamiento de agua cruda, almacenaje y transporte, conducción, impulsión, distribución, consumo, recaudación de costos, operación y mantenimiento. La certificación de calidad del agua potable para consumo humano deberá ser emitida por la autoridad nacional de salud.

El saneamiento ambiental en relación con el agua comprende las siguientes actividades: **1.** Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración.

**Art. 38.- Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales.** La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso.

#### **TÍTULO III: DERECHOS, GARANTÍAS Y OBLIGACIONES**

## Capítulo VI: Garantía preventivas

### Sección Segunda: Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua

**Art. 80.- Vertidos: prohibiciones y control.** Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Unica del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley *LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*, (2014).

### **9.3. TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MEDIO AMBIENTE (TULSMA): NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA**

#### **LIBRO VI ANEXO**

#### **DEFINICIONES**

**2.3. Aguas residuales:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, que hayan sufrido degradación en su calidad original.

#### **4. DESARROLLO**

**4.1. Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, subterráneas, marítimas y de estuarios.**

La norma tendrá en cuenta los siguientes usos del agua:

- a) Consumo humano y uso doméstico.
- b) Preservación de Flora y Fauna.
- c) Agrícola.
- d) Pecuario.

- e) Recreativo.
- f) Industrial.
- g) Transporte.
- h) Estético.

En los casos en los que se concedan derechos de aprovechamiento de aguas con fines múltiples, los criterios de calidad para el uso de aguas, corresponderán a los valores más restrictivos para cada referencia.

#### 4.1.4. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes. Se prohíbe el uso de aguas servidas para riego, exceptuándose las aguas servidas tratadas y que cumplan con los niveles de calidad establecidos en esta Norma.

Los criterios de calidad admisibles para las aguas destinadas a uso agrícola se presentan a continuación (ver tabla 2):

**Tabla 3**

*Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	visible	mg/l	Ausencia
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0,2
Plata	Ag	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH	mg/l	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales		mg/l	3000,0
Transparencia de las aguas			mínimo 2,0

medidas con el disco secchi.				m
Vanadio	V		mg/l	0,1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano		mg/l	0,3
Coliformes totales	nmp/100 ml			1000
Huevos de parásitos			Huevos/l	Cero
Zinc	Zn		itro mg/l	2,0

**Fuente:** (TULSMA, 2015).

De acuerdo al Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, las normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce son:

**Tabla 4**

*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite permisible	máximo
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100	
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200	
Fósforo Total	P	mg/l	10	
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10	
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50	
Sólidos totales	ST	mg/l	1600	
Temperatura	°C	mg/l	Condición natural	

**Fuente:** (TULSMA, 2015)

## 10. METODOLOGÍA

La actual investigación de carácter científica evaluó la eutrofización de aguas grises domiciliarias en el sector San José de Pichul, parroquia Once de Noviembre, Latacunga, mediante absorción biológica utilizando la especie acuática *Lemna minor* (Lenteja de agua). La metodología aplicada se desarrolló de acuerdo al método de recolección de aguas grises para posteriormente enviarse al laboratorio, obteniendo como resultados los niveles de nutrientes eutrofizantes, previo a ser tratados y una vez removidos. También, se realizó una recolección de plantas (*Lemna minor*), que luego fueron sembradas en el estanque implementado con las aguas grises, la macrófita acuática fue observada durante un lapso de 42 días (enero a mediados febrero), permitiendo la descripción de la especie. A continuación, se describe la metodología aplicada en el presente estudio:

### 10.1. Métodos

#### - Método mixto (cuali-cuantitativo)

Este método posibilitó la recolección, medición y análisis de datos, acerca de los nutrientes (N y P) que infieren en la eutrofización de cuerpos de agua, además, facultó la observación de la evolución y crecimiento de la planta acuática *Lemna minor* en el estanque implementado para tratar las aguas grises domiciliarias. Mediante la aplicación de este método se obtuvo un análisis holístico para afrontar la problemática y cuantificar la eficiencia de la lenteja de agua.

De igual manera, este método mixto permitió identificar el crecimiento de las raíces, a través de la observación y medición directa. Para el análisis se empleó una interpretación gráfica estadística de las variables analizadas.

### 10.2. Técnicas

- **Técnica documental o bibliográfica:** Esta técnica se utilizó para recopilar información bibliográfica a través de la lectura de artículos científicos, documentos, libros, revistas, entre otras, además, es una herramienta que brindó conocimiento valioso para abordar el tema de investigación.

- **Técnica de campo:** En este punto se realizó visitas *in-situ* con el objeto de establecer el muestreo, identificar el área de estudio, tomar datos para un posterior análisis y evaluación.
- **Técnica del fichaje:** Esta técnica consintió la recolección y almacenamiento de datos en campo de acuerdo a los muestreos realizados, para ser analizados en la fase de laboratorio y gabinete.
- **Técnica de laboratorio:** Se procesaron los datos recolectados en campo y se analizaron de acuerdo a los métodos y parámetros establecidos por el laboratorio, para cada nutriente valorado. Esto permitió mediante los resultados logrados hacer una comparación de la eficiencia de la remoción de nitrógeno y fósforo.
- **Técnica de análisis de datos:** Una vez aplicadas las técnicas anteriores, se recurrió a un análisis que permitió interpretar los resultados y concluir los hallazgos encontrados.

### 10.3. Instrumentos

- **Ficha de medición.-** Facultó la recolección de datos observables en campo, sobre la producción de agua gris y crecimiento de *Lemna minor*.
- **Fotografías:** Conforman los anexos que demuestran el desarrollo de la investigación en campo y laboratorio. Los trabajos fotográficos evidencian las acciones del proyecto sustentando el cumplimiento de cada una de las actividades realizadas.
- **Internet:** Se empleó en la recopilación de información digital bibliográfica, sobre los temas mencionados en el marco referencial, cabe recalcar que es una herramienta eficiente en la búsqueda de información relevante para interpretar análisis y comparar con resultados de otros autores.

### 10.4. Área de estudio

El presente estudio se realizó en un domicilio rural perteneciente al barrio San José de Pichul, Parroquia 11 de noviembre, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi (Figura 1). La ubicación del punto de estudio corresponde a las siguientes coordenadas UTM:

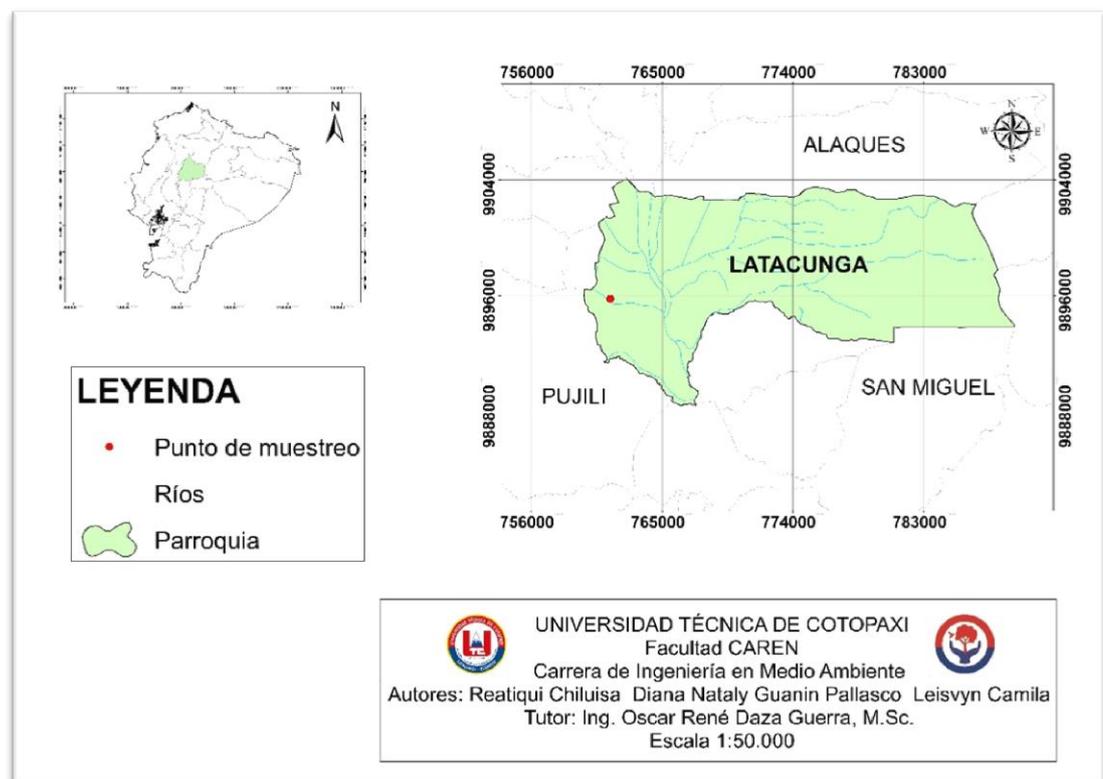
**Tabla 5**

*Ubicación geográfica del domicilio en coordenadas UTM*

ESTE	NORTE
761473.00 m E	9895779.20 m S

El sector San Jose de Pichul es una comunidad que colinda con otras tales como Tanioló y Santa Rosa de Pichul. Se localiza al oeste de la ciudad de Latacunga, perteneciendo a la parroquia Once de Noviembre, que fue creada por Acuerdo Ejecutivo N° 417, con fecha 8 de junio de 1939, y desde entonces, forma parte de las parroquias rurales del cantón.

**Figura 1**



*Ubicación del área de estudio*

#### 10.4.1. Caracterización física

**10.4.1.1. Clima:** Este lugar se localiza a una altitud entre 2800-2950 msnm, presenta una temperatura promedio de 12.5 °C, siendo los meses más fríos los de noviembre, diciembre y enero. Las precipitaciones varían de 450-700 mm anuales, las lluvias máximas se presentan en los meses de febrero, marzo, abril, octubre y noviembre, mientras que los meses secos son los de junio, julio y agosto. Al poseer una temperatura ubicada en el rango de 10 a 20 °C, ostenta la formación bioclimática Ecuatorial Mesotérmico seco.

**10.4.1.2. Uso y cobertura de suelo:** Las condiciones actuales describen que son tierras aptas para la agricultura, sin embargo, esta es reducida debido a la deficiente

disponibilidad de agua en la zona. Los productos más cultivados son el maíz y las papas.

**10.4.1.3. Topografía:** Cotopaxi es una provincia con una topografía muy irregular, que va desde los 150 hasta los 5790 msnm en la cima del volcán Cotopaxi. Del volcán Cotopaxi, se originan varios cauces que conforman el río Cutuchi, que atraviesa la provincia con dirección al Océano Atlántico. En la parte oriental se localiza el sistema lacustre el Tinte, Salado, Verde Cocha Yurac Cocha, Limpiopungo, Anteojos. En la cordillera oriental y occidental hay extensos páramos de donde nacen fuentes de agua que abastecen a las poblaciones, al occidente, se haya el volcán Quilotoa, en cuyo interior encontramos la laguna del mismo nombre y más al extremo se localiza el cantón La Maná y Pangua con montañas llenas de bosques primarios y ríos importantes como el Angamarca, Chuquiragua, Calope, San Pablo y otros, que toman dirección hacia el Océano Pacífico. Al noroccidente nacen pequeños ríos que alimentan el Toachi, al sur se destaca la laguna de Yambo y las estribaciones del cerro Saguatoa y Casaguala y ríos como el Yanayacu, Nagsiche. En la provincia también se localizan aguas minerales de San Felipe, Pitigua y San Martín; aguas termales de Aluchán y Nagsiche.

#### 10.4.2. Caracterización biótica

**10.4.2.1. Flora:** Es notoria la presencia del árbol de capulí, que prevalece por sus sabores con gran potencial industrial. Este fruto alcanza su madurez a inicios del año. También, se encuentra la cabuya negra (*Agave mexicana*), que por su bajo requerimiento hídrico se desarrolla bien en esta zona formando cercas vivas. La flora en este sector, además de las ya mencionadas, abarca otras especies endémicas con gran presencia, como el penco y la chilca.

**10.4.2.2. Fauna:** En este apartado se encuentran las siguientes especies que se detallan en la tabla 6:

**Tabla 6**

*Animales predominantes en la zona de estudio.*

<b>Animales en general</b>	<b>Animales en peligro de extinción</b>
Zorrillo	Anfibios ( <i>Atelopus ignescens o jambato negro</i> )
Raposa	Aves (Güiragchuro, Tórtola, Mirlo, Gorrión, Quinde, Guarros, Quilile, Búhos-chushi, Colibríes)

Ratones	Mamíferos domésticos (Cerdos, Vacas, Perros, Conejos, Burros, Caballos, Gatos, Cuyes)
Ratas	
Comadrejas	

## **10.5. Procedimiento del Sistema de Fito remediación para absorción de nutrientes eutrofizantes N y P.**

### **10.5.1. Cuantificación de la producción domiciliaria de aguas grises**

Se registró la producción de aguas grises del entorno domiciliario durante 6 semanas, incluyendo la producción de los lavabos de manos y de cocina, y lavandería de ropa. Esta medición se realizó diariamente en el sistema de remoción de grasas y filtrado.

### **10.5.2. Dimensionamiento de los estanques para tratamiento**

Se acondicionó un estanque existente en el entorno domiciliario. Se forró de plástico impermeable para retener el agua residual. La superficie de cultivo de *Lemna minor* fue de 8.51 m<sup>2</sup>. La profundidad del tanque fue de 0.4 m.

### **10.5.3. Introducción de la especie fitorremediadora *Lemna minor***

De un cultivo establecido de *Lemna*, se tomaron muestras de *Lemna minor* (0,851 kg), las cuales fueron lavadas y acondicionadas para ser trasplantadas al estanque de remediación. Esta actividad se hizo solamente al inicio del estudio, permitiendo que se desarrollen sin adición de más material vegetal.

## **10.6. Calidad de agua gris residual domiciliaria respecto a nutrientes eutrofizantes N y P.**

### **10.6.1. Muestreo de agua residual**

Con el fin de asegurar la calidad de la muestra, se siguieron los protocolos dictados por el laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Éstos están detallados en los manuales de muestreo de agua para análisis con fines agrícolas.

Se tomó una muestra homogénea y representativa del pozo de producción de *Lemna*. Para ello se seleccionó el sitio más profundo como punto de muestreo y se utilizaron recipientes de plástico de 1 litro de capacidad previamente lavado y esterilizado. El envase fue sellado cuidadosamente con el fin de que no ingrese material extraño ni aire excesivo. La muestra fue inmediatamente llevada a laboratorio y entregada para su análisis. Éste

procedimiento se llevó a cabo tanto para el agua sin tratar como para el agua remediada con *Lemna minor*.

#### **10.7. Determinación del contenido de N y P del agua gris**

Para determinar los contenidos de N y P en el agua, se enviaron las muestras tomadas siguiendo el correspondiente protocolo, al laboratorio certificado LASPA, del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para su análisis.

#### **10.8. Determinación de la eficiencia de remoción de nutrientes eutrofizantes**

Con los resultados de laboratorio se procedió a determinar la cantidad de nitrógeno y fósforo removidos del agua. Se procedió a graficar las diferencias.

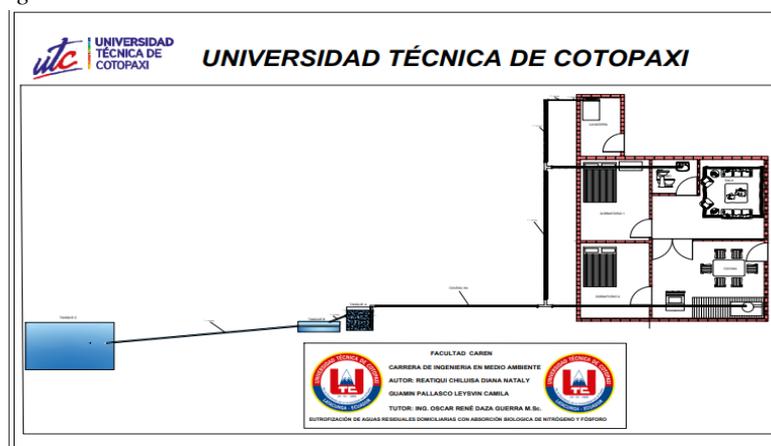
## 11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 11.1. Implementación de un sistema de fitoremediación para la absorción y cuantificación de nutrientes eutrofizantes (Nitrógeno y Fósforo).

La cuantificación del agua gris producida en un entorno domiciliario rural se desarrolló mediante aforos, a escala semanal arrojando un volumen de  $2.99 \text{ m}^3$  (2,989 l) durante 4 semanas de estudio. El domicilio beneficiado alberga cuatro personas, que usan el líquido vital en actividades cotidianas como el lavado de manos, ropa y en la cocina. Estos efluentes residuales fueron recolectados y conducidos mediante la instalación de un sistema de desfogue con tubería PVC de 50 mm de diámetro que desembocó en dos tanques de 100 litros cada uno. Estos tanques fueron emplazados para la implementación de un sistema de remoción de grasas y lodos (Figura 2), provenientes de la cocina y lavandería mediante la tubería A, el caudal aforado resultó en una media diaria de 0.0012 l/s que circulaban hacia el tanque de almacenamiento A, en donde se sedimentan y se retienen lodos y grasas. Luego, el efluente sin grasa es trasladado por la tubería B al tanque B, en donde es almacenada previo a ser transportada por la tubería C al estanque que contenía *Lemna minor*. Hay que mencionar que según Arroyave, (2004), la fitorremediación es una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales, siempre y cuando se manipula eficazmente su

**Figura 2**

*Diseño e implementación de sistemas para tratar agua gris domiciliaria: Recolección y Remoción de lodos y grasas del agua gris domiciliaria.*



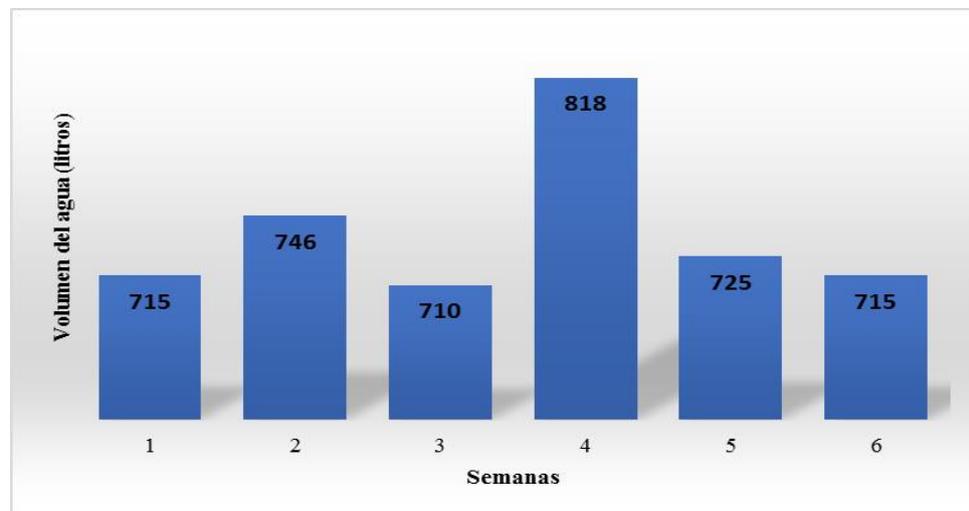
poder de proliferación, capacidad de absorción de nutrientes y bioacumulación de contaminantes del agua.

**Nota:** Elaborado por las autoras en AutoCAD.

A continuación, el resultado del aforo de aguas grises domiciliarias en el entorno doméstico evaluado, durante las cuatro semanas muestra un consumo creciente como se puede observar en la figura 3, a excepción de la tercera semana, que presenta una disminución consecuente con las bajas precipitaciones ocurridas en ese lapso. Por otro lado, se produjo una etapa de residencia durante la quinta y sexta semana, es decir, el agua gris del estanque cumplía con el tiempo de permanencia hasta ser remplazada nuevamente por agua eutrofizada.

**Figura 3**

*Registro semanal de producción de aguas grises.*



Elaborado por: (Guanín, L. & Reatiqui, D., 2022).

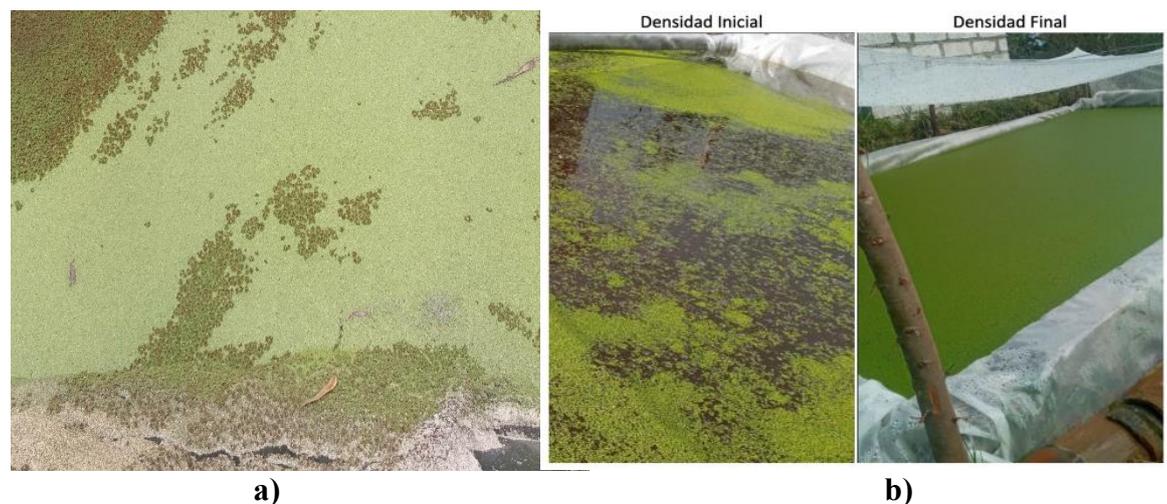
De este modo, el área de terreno disponible para el estudio posee una dimensión de 3.7 metros de largo y 2.3 metros de ancho, reflejando una superficie de 8.51 m<sup>2</sup>. La construcción del estanque (Ver Anexo 3), empleó bloques de puzolana para las paredes, material que ofrece estructura, pero una impermeabilidad incompleta. Esto fue resuelto mediante el recubrimiento del estanque con una lámina plástica calibre 8. También, para afrontar la alta influencia de la radiación solar, se forró el estanque con sarán blanco, que proporciona un adecuado paso de la luz, esta última requerida para fotosíntesis. Complementariamente, la cubierta también protege el cultivo de *Lemna* de la acción de las aves silvestres y el viento. Finalmente, la correcta implementación del estanque contribuyeron en la introducción, adaptación, reproducción y crecimiento de la macrófita acuática.

Por consiguiente, se procedió al llenado del estanque con el efluente eutrofizado hasta la profundidad de 0.4 m. No obstante, dentro del sistema de producción de

*Lemna*, es importante el proceso de adaptación de especímenes de *Lemna minor*, a las nuevas condiciones de concentración de nutrientes en el agua del estanque. Los estanques de adaptación reciben las aguas grises domiciliarias sin grasas y lodos, así como la composta avícola disponible en el domicilio. Bajo estas premisas, se deben diferenciar los estanques de reproducción y producción. Los estanques de reproducción fueron hechos a partir de tanques de PVC de 200 litros (Figura 4a), mismos que se usaron para reproducir el germoplasma y permitir que se adapten a las condiciones de calidad de agua, concentración de nutrientes y temperatura del agua. Luego de que las plantas de *Lemna* se han reproducido y adaptado hasta presentar un desarrollo y densidad adecuada, fueron trasladadas al estanque de producción (Figura 4b), con la cantidad de efluente determinado previamente.

#### Figura 4

Introducción de *Lemna minor* en estanques de reproducción y producción: a) Estanque de reproducción; b) Siembra y desarrollo en estanque de producción.

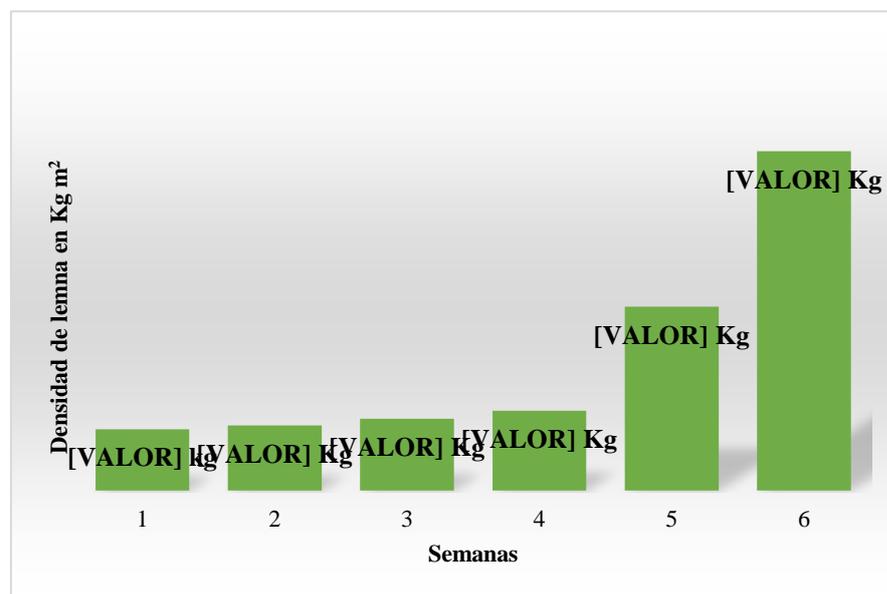


Elaborado por: (Guanín, L. & Reatiqui, D., 2022).

Entonces, se sembró la *Lemna* en el estanque a una densidad de  $0.1 \text{ kg por m}^{-2}$ , requiriéndose  $0.851 \text{ kg}$  de germoplasma. En la figura 5, se despliega la distribución de la *Lemna* al momento de la siembra y luego de transcurridas 6 semanas de desarrollo. A partir de una densidad inicial de  $0.1 \text{ kg m}^{-2}$ , se obtuvo una densidad final de  $0,55 \text{ kg m}^{-2}$ . En este punto, prevaleció el objetivo de evaluar la absorción de nutrientes eutrofizantes (N y P) mediante *Lemna minor*, por lo que no se cosechó la planta, observándose un crecimiento exponencial a partir de la segunda semana. Durante la

primera semana, la planta se desarrolló hasta alcanzar una densidad crítica de 0.10 kg, impidiendo la cubierta completa del estanque. Asimismo, en las semanas siguientes (2, 3 y 4), se visualizó un crecimiento mínimo de la macrófita, pero en la semana cinco surgió un crecimiento acelerado presentando una densidad de 0,30 kg. Finalmente, en la semana seis se determinó que la planta ascendió rápidamente hasta obtener 0,55 kg. Las condiciones del clima son muy influyentes para el crecimiento y multiplicación de *Lemna minor*.

**Figura 5**



Evolución de la densidad de Lemna minor en el estanque eutrofizado.

Elaborado por: (Guanín, L. & Reatiqui, D., 2022).

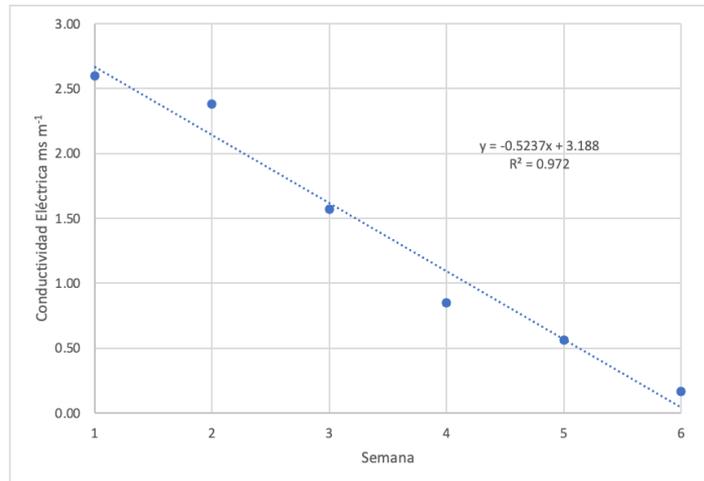
## 11.2. Análisis del contenido de nutrientes eutrofizantes (N y P), provenientes de las aguas grises domiciliarias.

La conductividad eléctrica (CE) se evaluó en micro siemens por cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ ). En la Figura 6, se observa que los valores de conductividad eléctrica se redujeron conforme la planta remediadora *Lemna minor* se incrementaba en el tiempo de estudio, esto es directamente proporcional a la disminución de la concentración de calcio, que confiere la dureza al agua convirtiéndose en uno de los componentes que generan la conductividad (Solís-Castro et al., 2018). También, Barbaro et al., (2017), manifiestan que una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo. Por tanto, se registró una conductividad eléctrica de  $2.6 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  al inicio del estudio (Figura 7). Esto demuestra un mayor nivel de sales disueltas en el agua residual

domiciliar, especialmente si se compara con la CE de  $0.15 \mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$  reportado en la sexta semana por el Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas (LASPA) del Instituto

**Figura 6**

*Conductividad Eléctrica (CE) del agua gris domiciliar.*



Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés), la presencia de sólidos disueltos inorgánicos tales como sulfato, aniones fosfato, cloruro y nitrato, (iones con negativa) o cationes de calcio, aluminio, magnesio, hierro y sodio (iones con carga positiva) afectan a la conductividad.

**Elaborado por:** (Guanín, L. & Reatiqui, D., 2022).

El contenido de nutrientes en el agua gris familiar, fue examinado al inicio del estudio y después de 42 días de haber comenzado el mismo (Figura 7). Los resultados del análisis de agua eutrofizada proveniente del entorno doméstico rural, se obtuvieron del Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas (LASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Las concentraciones de nutrientes estudiadas, se encontraron en mayor rango en el agua no tratada, es decir, al inicio del estudio. Para N se reporta una concentración inicial de 0,01 mg/l, la misma que después de 42 días de tratamiento de fitorremediación con *Lemna minor*, se redujo a 0,004 mg/l; de igual manera, se observó que el P en su concentración inicial presentaba 14.7 ppm, reduciéndose a 0.27 ppm al final de la investigación. De acuerdo al Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, específicamente la tabla 4 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”, que señala

como límite máximo permisible 10 mg/l tanto para nitrógeno como para fósforo, demostrando que los resultados de este análisis cumplen con estos estándares.

### Figura 7

*Concentración de nutrientes N y P en el agua gris domiciliar rural*

Nutrientes	CONCENTRACIONES (ppm)	
	Inicio	Final (42 días)
<b>Fósforo (P)</b>	14,7	0,27
<b>Nitrógeno (N)</b>	0,01	0,004
<b>Calcio (Ca)</b>	54,9	4,6
<b>Conductividad Eléctrica (CE)</b> ( $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ )	2,6	0,15

Elaborado por: (Guanín, L. & Reatiqui, D., 2022).

### 11.3. Determinación de la eficiencia de remoción de N y P utilizando *Lemna minor* en el agua gris domiciliaria.

La absorción de nutrientes eutrofizantes N y P del agua gris domiciliaria rural, realizada en el estanque de fitorremediación mediante *Lemna minor*, demostró resultados favorables (Figura 8). La eficiencia de remoción del Nitrógeno Total oscila alrededor del 60%; por otro lado, más promisorio es el resultado para el fósforo, que alcanzó una eficiencia aún mayor 98,16%. Karpiscak et al., (2001), indican que la remoción del fósforo en los humedales artificiales es eficiente en un período corto hasta que el medio se satura, además, que con tiempos de retención de 18 horas, el sistema presentó una remoción de casi el 96% de contenido de fósforo, similar al obtenido en esta investigación. También, Moreno, (2013) determinó un porcentaje de remoción de nitrógeno entre el 60 % y 75 %, en humedales con vegetación. Estas altas tasas de remoción se deben a la capacidad de la *Lemna* para aprovechar los nutrientes en su mantenimiento y manutención, al mismo tiempo, por su elevada reproducción.

**Figura 8***Eficiencia de remoción de nutrientes con Lemna minor.*

<b>Nutrientes</b>	<b>CONCENTRACIONES (ppm)</b>			
	<b>Inicio</b>	<b>Final (42 días)</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Eficiencia (%)</b>
<b>Fósforo (P)</b>	14,7	0,27	14,43	98,16
<b>Nitrógeno (N)</b>	0,01	0,004	0,006	60
<b>Calcio (Ca)</b>	54,9	4,6	50,3	91,62
<b>Conductividad Eléctrica (CE) (<math>\mu\text{S}/\text{cm-1}</math>)</b>	2,6	0,15	2,45	94,23

**Elaborado por:** (Guanín, L. & Reatiqui, D., 2022).

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

### **12.1. Impactos técnicos**

La tecnología para recuperar los elementos eutrofizantes Nitrógeno y Fósforo en aguas grises residenciales rurales es fácil de instalar y usar. Se puede capacitar a las comunidades locales para implementarlas y los materiales de construcción suelen ser viables económicamente. La recolección y tratamiento de aguas grises es práctica porque proporciona agua con cargas de eutrofización muy bajas. Una desventaja de la tecnología de recuperación de aguas grises es la percepción de la comunidad, quienes están acostumbrados a la descarga de aguas residuales en el sistema de alcantarillado o el ambiente, y se olvidan de sus efectos socio-ambientales. En el ámbito doméstico se han desarrollado sistemas de alimentación de oxígeno y absorción de lodos. Asimismo, se han incorporado biofiltros para reducir la carga de bacterias patógenas. Se brindó capacitación y sensibilización sobre el uso eficiente del agua en el domicilio, teniendo en cuenta cada destino que se le brinda.

### **12.2. Impactos sociales**

Reducir la carga de nutrientes de las aguas grises promueve la disminución de la huella hídrica gris y la resiliencia socio-ecológica de las familias y comunidades. Las familias que se benefician de la investigación se empoderan a través de acciones individuales dentro del grupo familiar. En la comunidad, las familias ven la posibilidad de transferir agua tratada a la producción local, aplicando soluciones sostenibles basadas en la naturaleza.

### **12.3. Impactos ambientales**

La reducción de la carga de eutrofización de nutrientes nitrógeno y fósforo en las aguas grises domésticas, disminuye la huella hídrica gris, optimiza la cantidad de agua limpia utilizada y reduce la cantidad de aguas residuales contaminadas que se liberan al medio ambiente. La huella hídrica gris local cumple con los estándares específicos de calidad del agua.

### **12.4. Impactos económicos**

Los sistemas naturales de tratamiento de aguas grises domésticas, brindan soluciones basadas en la naturaleza con costos muy bajos y altos rendimientos

económicos. El potencial de producción de *Lemna minor* para forraje como fuente de aminoácidos esenciales, minerales y vitaminas, reduce la necesidad de suplementos comerciales a especies domésticas de bajo costo, genera utilidades económicas que ayudan a actividades productivas sostenibles.

### 13. CONCLUSIONES

Se implementó un sistema de fitorremediación (*Lemna minor*) para la absorción de nutrientes eutrofizantes (Nitrógeno y fósforo) en aguas grises residuales domiciliarias, produciendo un volumen a ser tratado de 2.99 m<sup>3</sup> durante las 4 semanas de estudio. Asimismo, incluyendo el efluente de los lavabos de manos, de cocina y el de la lavandería, el volumen incrementó en las 6 semanas a 4,43 m<sup>3</sup>.

El crecimiento de la especie acuática *Lemna minor* en el estanque, se produjo al inicio con una densidad de 0.1 kg por m<sup>-2</sup>. Al finalizar el estudio de la planta se obtuvo una densidad de 0,55 kg/m<sup>-2</sup>. Además, se observó un crecimiento exponencial a partir de la segunda semana. Durante la primera semana, la planta se desarrolló hasta alcanzar una densidad crítica de 0.10 kg, impidiendo la cubierta completa del estanque. Asimismo, en las semanas siguientes (2, 3 y 4), se visualizó un crecimiento mínimo de la macrófita, pero en la semana cinco surgió un crecimiento acelerado presentando una densidad de 0,30 kg. Finalmente, en la semana seis se determinó que la planta ascendió rápidamente hasta obtener 0,55 kg. Las condiciones del clima son muy influyentes para el crecimiento y multiplicación de *Lemna minor*.

El análisis del contenido de nutrientes en el agua gris familiar, se realizó al inicio del estudio y después de 42 días de haber comenzado el mismo. Las muestras se analizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos Plantas y Aguas (LASPA) del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Las concentraciones de nutrientes estudiadas, se encontraron en mayor rango en el agua no tratada, es decir, al inicio del estudio. Para N se reporta una concentración inicial de 0,01 mg/l, la misma que después de 42 días de tratamiento de fitorremediación con *Lemna minor*, se redujo a 0,004 mg/l; de igual manera, se observó que el P en su concentración inicial presentaba 14.7 ppm, reduciéndose a 0.27 ppm al final de la investigación.

La determinación de la eficiencia en la absorción de nutrientes eutrofizantes N y P del agua gris domiciliaria rural, realizada en el estanque de fitorremediación mediante *Lemna minor*, demostró resultados favorables. Se presentó una remoción del Nitrógeno Total que oscila alrededor del 60%; por otro lado, más promisorio es el resultado para el fósforo, que alcanzó una eficiencia del 98,16%.

#### **14. RECOMENDACIONES**

Se sugiere realizar una evaluación de la inclusión de los efluentes de las duchas en el sistema de recuperación de nutrientes, debido a que este entorno familiar no consideró ese factor por problemas de instalación.

Se recomienda efectuar un análisis bromatológico de la *Lemna minor* para determinar la composición nutricional y evaluar el potencial como fuente de alimento para animales de granja.

Socializar en las comunidades rurales esta alternativa ecológica que brinda el diseño de sistemas domiciliarios para cultivo de *Lemna* con fines de producción de forraje y de abono verde. Además, de su potencial como fitorremediadora en aguas grises debido a su rentabilidad y factibilidad para el tratamiento de lixiviados.

## 15. REFERENCIAS

- Alvarado, K. (2017). Influencia del uso de lemna minor en el tratamiento de la contaminación orgánica de los efluentes industriales de Cotexsur, Lurin, 2017 [Maestría, Universidad de Huanuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1499/ALVARADO%20PE%20REZ%20KARINA%20MILAGROS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arroyave, M. del P. (2004). LA LENTEJA DE AGUA (LEMNA MINOR L.): UNA PLANTA ACUÁTICA PROMISORIA. *Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq*, 1, 33-38.
- Barbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2017). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_-\\_importancia\\_del\\_ph\\_y\\_la\\_conductividad\\_elctrica.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf)
- Barreto Torrella, S. (2021). COVID-19 y aguas residuales. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 72.
- Bermúdez, X. (2016). Modelo conceptual de la eutrofización y proliferación de cianobacterias. Un caso de estudio en el embalse de A Baxe. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2745.1927>
- Bradley, D., & Bartram, J. (2013). Domestic water and sanitation as water security: Monitoring, concepts and strategy. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002). <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0420>
- Chen, Y., Chen, L., Deng, Q., Zhang, G., Wu, K., Ni, L., Yang, Y., Liu, B., Wang, W., Wei, C., Yang, J., Ye, G., & Cheng, Z. (2020). The Presence of SARS- CoV- 2 RNA in Feces of COVID- 19 Patients. *Journal of Medical Virology*, 92. <https://doi.org/10.1002/jmv.25825>

CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. (2008). CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR. [https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador\\_act\\_ene-2021.pdf](https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf)

Espinel, V. (2018). Influencia de la actividad antropogénica en la calidad del agua del embalse La Esperanza, Ecuador [Posgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. [https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8403/Espinel\\_pv.pdf?sequence=3](https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/8403/Espinel_pv.pdf?sequence=3)

Fernandez, C., Jocu, A., & Gandullo, R. (2018). Vegetación acuática bioindicadora de eutrofización del Alto Valle de Río Negro (Argentina). *Ernstia*, 28(1), 45-93. [https://www.researchgate.net/publication/331356689\\_Vegetacion\\_acuatica\\_bioindicadora\\_de\\_eutrofizacion\\_del\\_Alto\\_Valle\\_de\\_Rio\\_Negro\\_Argentina\\_Ernstia\\_281\\_45-93\\_2018](https://www.researchgate.net/publication/331356689_Vegetacion_acuatica_bioindicadora_de_eutrofizacion_del_Alto_Valle_de_Rio_Negro_Argentina_Ernstia_281_45-93_2018)

Filali, H., Bârsan, N., Souguir, D., Nedeff, V., Claudia, T., & Hachicha, M. (2022). Greywater as an Alternative Solution for a Sustainable Management of Water Resources—A Review. *Sustainability*, 14, 665. <https://doi.org/10.3390/su14020665>

Iridra. (2018). La fitodepuración una técnica natural para tratar las aguas residuales urbanas para respeto del medioambiente y del paisaje. IRIDRA. <http://www.iridra.eu/es/humedales-construidos/las-aplicaciones.html>

Karpiscak, M. M., Whiteake, L. R., Artiola, J. F., & Foster, K. E. (2001). Nutrient and heavy metal uptake and storage in constructed wetland systems in Arizona. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 44(11-12), 455-462.

- Kaur, L., & Kanwar, N. (2021). Duckweed: A model for phytoremediation technology. *The holistic approach to environment*, 12, 39-58. <https://doi.org/10.33765/thate.12.1.4>
- Khan, F., & Ansari, A. (2005). Eutrophication: An Ecological Vision. *The Botanical Review*, 71, 449-482. [https://doi.org/10.1663/0006-8101\(2005\)071%5B0449:EAEV%5D2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0006-8101(2005)071%5B0449:EAEV%5D2.0.CO;2)
- LEY ORGÁNICA DE RECURSOS HÍDRICOS, USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA. (2014). 23.
- Liu, C., Dai, Z., & Sun, H. (2016). Potential of duckweed (*Lemna minor*) for removal of nitrogen and phosphorus from water under salt stress. *Journal of Environmental Management*, 187. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.11.006>
- Moreno, A. F. M. (2013). Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. 51.
- Núñez, L., Molinari, C., Paz, M., Tornello, C., Mantovano, J., & Moretton, J. (2013). Análisis de riesgo sanitario en aguas grises de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30, 341-350.
- Oteng-Peprah, M., Agbesi Acheampong, M., & deVries, N. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—A Review. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8), 255. [https://doi.org/Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. \(2018\). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception-a Review. Water, air, and soil pollution, 229\(8\), 255. https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8](https://doi.org/Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception-a Review. Water, air, and soil pollution, 229(8), 255. https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8)
- Pabón Guerrero, S., Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de

- remoción. Una revisión. Entre ciencia e ingeniería, 14, 9-18.  
<https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Paredes Losada, I. (2020). Presiones antrópicas y eutrofización en la marisma de Doñana y sus cuencas vertientes [Posgrado, Universidad de Sevilla].  
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34589.05606>
- Salvo Tierra, Á., Valero, A., Satti, I., Castro, M., Saugar, J., Gamo, J., Aikas, K., Muñoz, L., Txopeitia, L., Rojas González, N., Franch, N., Martínez, P., Vázquez, V., & Giralda, A. (2018). Soluciones basadas en la Naturaleza—CONAMA RUMBO 20.30 2018.
- Sánchez, J., & Irigoín, N. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. *Revista Alfa*, 5, 65-77. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.98>
- Sandoval, J. A., & Fernández, D. (2020). Breve revisión del uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. *Gestión y Ambiente*, 23, 1-23. <https://doi.org/10.15446/ga.v23n1.84034>
- Seddon, N., Chausson, A., Berry, P., Girardin, C., Smith, A., & Turner, B. (2020). Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 375, 20190120. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>
- Solís-Castro, Y., Zúñiga-Zúñiga, L. A., & Mora-Alvarado, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1), 35. <https://doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Spychała, M., Nieć, J., Zawadzki, P., Matz, R., & Nguyen, H. (2019). Removal of Volatile Solids from Greywater Using Sand Filters. 9, 770.
- TULSMA. (2015). NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA (LIBRO V). ANEXO 1.  
<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

- Winpenny, J., Heinz, I., & Koo-Oshima, S. (2013). Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos? Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma 2013. [www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf](http://www.fao.org/3/i1629s/i1629s.pdf)
- Zhao, X., Liao, X., Chen, B., Tillotson, M., Guo, W., & Li, Y. (2019). Accounting global grey water footprint from both consumption and production perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 225, 963-971. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.037>

## 16. ANEXOS

### Anexo 1. Análisis inicial de agua eutrofizada (N y P)



ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS  
 Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua.  
 Tifs. (02) 3007284 / (02)2504240  
 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec

INFORME DE ENSAYO No: 21-0926

RE DEL CLIENTE: Guanin Pallasco Leysvin Camila  
 ONARIO: Guanin Pallasco Leysvin Camila  
 SA/INSTITUCIÓN: Guanin Pallasco Leysvin Camila  
 CIÓN: Saquisilí

FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 30/11/202  
 HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA: 12:4  
 FECHA DE ANÁLISIS: 06/12/202  
 FECHA DE EMISIÓN: 10/12/202  
 ANÁLISIS SOLICITADO: NT.+FOSFORO+CALCIC

	Ca	Mg*	Na*	K*	N	Ph*	CE*	RAS*	Dureza*	CO3*	HCO3*	Cl <sup>-</sup> *	SO4*	B*	Fe *	Zn +	Cu *	Mn *	P	IDENTIFICACIÓN
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)			mS/cm			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	ppm	
3	54,90				0,01														14,70	Muestra 1

IVACIONES: Muestra entregada por el cliente  
 os no solicitados por el cliente



Firmado electrónicamente por:  
**JOSE ALONSO  
 LUCERO  
 MALATAY**

LABORATORISTA



Firmado electrónicamente por:  
**IVAN RODRIGO  
 SAMANIEGO  
 MAIGUA**

RESPONSABLE DEL LABORATORIO

mento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

ados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el lo del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y información.

## Anexo 2. Análisis final de agua eutrofizada (N y P).

MC-LASPA-2201-01

	<b>ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA</b> <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS PLANTAS Y AGUAS</b> Panamericana Sur Km. 1, S/N Cutuglaque. Tífs. (02) 3007284 / (02)2504240 Mail: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec	
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No: 22-0011

**NOMBRE DEL CLIENTE:** Guanin Pallasco Leysvin Camila  
**PETICIONARIO:** Guanin Pallasco Leysvin Camila  
**EMPRESA/INSTITUCIÓN:** Guanin Pallasco Leysvin Camila  
**DIRECCIÓN:** Saquisilí

**FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 04/01/2022  
**HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:** 12:10  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 10/01/2022  
**FECHA DE EMISIÓN:** 14/01/2022  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** AGUA 1 + NT.+ FOSFORO

Análisis	Ca	Mg	Na	K	N	Ph	CE	RAS*	Dureza*	CO3*	HCO3*	Cl <sup>-</sup> *	SO4*	B*	Fe*	Zn +	Cu *	Mn *	P	IDENTIFICACIÓN	
Unidad	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%		mS/cm			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)		
22-0065	4,6	1,7	23,4	2,74	0,004	6,9	0,15													0,27	Muestra 1

**OBSERVACIONES:** Muestra entregada por el cliente

\* Ensayos no solicitados por el cliente


 Firmado digitalmente por:  
**JOSE ALONSO**  
**LUCERO**  
**MALATAY**  
**LABORATORISTA**


 Firmado digitalmente por:  
**IVAN RODRIGO**  
**SANMIEGO**  
**MAIGUA**  
**RESPONSABLE DEL LABORATORIO**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

**NOTA DE DESCARGO:** La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.



Anexo 3. Registro fotográfico.

Anexo 4. Registro fotográfico (Continuación...)

