



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

**“SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN UN ENTORNO
DOMÉSTICO RURAL PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN EL
CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERÍODO 2021-2022**

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

Autoras:

Caiza Lema Erika del Pilar

Pujota Fajardo Mireya Luceidy

Tutor:

Oscar René Daza Guerra Ing. M.Sc.

LATACUNGA - ECUADOR

Marzo 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Caiza Lema Erika del Pilar, con cédula de ciudadanía No. 0503340226; y, Pujota Fajardo Mireya Luceidy, con cédula de ciudadanía No. 2100836259; declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación “Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Período 2021-2022”, siendo el Ingeniero M.Sc. Oscar René Daza Guerra, 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, 24 de marzo del 2022

Erika del Pilar Caiza Lema
Estudiante
CC: 0503340226

Mireya Luceidy Pujota Fajardo
Estudiante
CC: 2100836259

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 **CAIZA LEMA ERIKA DEL PILAR**, identificada con cédula de ciudadanía **050334022-6** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. 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. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, 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: Abril 2014 - Agosto 2014

Finalización de la carrera: Octubre 2021 – Marzo- 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 7 de Enero del 2022

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

Tema: “Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, 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 24 días del mes de marzo del 2022.

Erika del Pilar Caiza Lema

LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

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 **PUJOTA FAJARDO MIREYA LUCEIDY**, identificada con cédula de ciudadanía **2100836259** de estado civil casada, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. 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. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, 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 Marzo 2022

Aprobación en Consejo Directivo: 7 de Enero del 2022

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

Tema: “Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, 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 24 días del mes de marzo del 2022.

Mireya Luceidy Pujota Fajardo

LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN UN ENTORNO DOMÉSTICO RURAL PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN EL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERÍODO 2021-2022”, de Caiza Lema Erika del Pilar, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, 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, 24 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: Caiza Lema Erika del Pilar y Pujota Fajardo Mireya Luceidy, con el título del Proyecto de Investigación: “SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN UN ENTORNO DOMÉSTICO RURAL PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN EL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERÍODO 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, 25 de marzo del 2022

Lector 1 (Presidente)
Ing. M.Sc. José Agreda Oña
CC: 0103578365

Lector 2
Lcdo. M.Sc. Patricio Clavijo Cevallos
CC: 0501444582

Lector 3
Ing. M.Sc. José Andrade Valencia
CC: 0502524481

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por darme la dicha de haber logrado mi meta que me propuse cuando elegí esta carrera y a mis padres Germán y Conzuelo por verme forjado ya que ellos son mi pilar fundamental y los que me formaron como la persona que hoy en día soy. Gracias al apoyo y la confianza que mis padres depositaron en mí a ellos los agradezco infinitamente.

Cómo no agradecer a mi esposo Jorge y a mi hijo Mathias si ellos estuvieron constantemente junto a mí en altos y bajos y doy gracias por cuidar de nuestro hijo mientras yo no estaba junto a él los dos son muy importantes y por ustedes lo logré.

A mis hermanos Klever, Deysi y a mi cuñado Bryan y a mi sobrino Santiago como no agradecerles por sus palabras y consejos para poder seguir con mi meta que un día me propuse y así poder alcanzarla este triunfo es de toda mi familia no solo mía sino de todos gracias

Gracias Padre y Madre

Caiza Lema Erika del Pilar

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por su sacrificio para forjar el futuro de sus hijos.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, y sus estamentos, especialmente a los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental.

Pujota Fajardo Mireya Luceidy

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a mi hijo Jorge Mathias mi razón por cual luche día a día has conseguirle gracias porque eres mi inspiración mi fortaleza tu sonrisa leda luz a mi camino y das las fuerzas necesarias para seguir luchando y conseguir mis metas.

Caiza Lema Erika del Pilar

DEDICATORIA

A mi hijo, motor y razón de mi vida

Pujota Fajardo Mireya Luceidy

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: “SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN UN ENTORNO DOMÉSTICO RURAL PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN EL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERÍODO 2021-2022”

AUTORES: Erika
Caiza
Mireya Pujota

RESUMEN

El desarrollo de una gestión sostenible de efluentes producidos a escala rural en un entorno doméstico, es importante para controlar la eutrofización, mitigando el vertimiento excesivo de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo). Por tanto, se empleó la lenteja de agua (*Lemna minor*), como una macrófita acuática que posee el potencial de absorber y fijar los contaminantes provenientes de las aguas residuales. Esta macrófita se presentó como una alternativa rentable y factible para el tratamiento de aguas grises y la producción de forraje pecuario. A continuación, se planteó un sistema de recuperación de nutrientes de aguas grises en un entorno doméstico, y se examinó el crecimiento y la eficiencia de captación de nutrientes de la lenteja de agua (*Lemna minor*) en el agua gris domiciliaria. Luego, se implementó un estanque de 8.51 m² y 0.5 m de profundidad para recepción del efluente, mediante aforo se obtuvo una producción de 2.87 m³ por mes, incluyendo las aguas de los lavabos de manos, de cocina y de la lavandería. Entonces, se sembró *Lemna minor* con una densidad inicial de 100 g m⁻². La densidad final fue de 595 g m⁻². El análisis en laboratorio del agua gris determinaron una concentración de 70 ppm de N y 15.6 ppm de P. Finalmente, se alcanzó una remoción del nitrógeno total Kjeldahl y el fósforo total de hasta el 86.5 y 67%, respectivamente. Además, el análisis proximal de la macrófita deshidratada mostró altos contenidos de carbohidratos solubles (39.68%), de fácil asimilación (Extracto libre de Nitrógeno). El contenido de proteína en base seca llega a 23.84%, exponiendo un alto valor biológico y el potencial de reemplazar fuentes de proteína convencionales como la harina de pescado y soya en la alimentación de animales domésticos.

Palabras clave: Nitrógeno y fósforo, macrófita *Lemna minor*, agua gris, eutrofización, eficiencia de captación de nutrientes, análisis proximal.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

THEME: “Wastewater Reuse System in a Rural Domestic Environment for Nutrient Recovery in Latacunga Canton, Cotopaxi Province, 2021-2022.”

Authors: Erika del Pilar Caiza Lema
Mireya Luceidy Pujota Fajardo

ABSTRACT

Developing sustainable management of effluents produced on a rural scale in a domestic environment is essential to control eutrophication, mitigating the excessive discharge of nutrients (nitrogen and phosphorus). Therefore, duckweed (*Lemna minor*) was used as an aquatic macrophyte that has the potential to absorb and fix pollutants from wastewater. This macrophyte was presented as a profitable and feasible alternative for the treatment of wastewater and livestock fodder production. Next, a wastewater nutrient recovery system was proposed in a domestic environment, and the growth and nutrient uptake efficiency of duckweed (*Lemna minor*) in domestic wastewater was examined. Then, a pond of 8.51 m² and 0.5 m deep was implemented to receive the effluent, and production of 2.87 m³ per month was obtained by gauging, including water from hand washing, kitchen, and laundry. Then, *Lemna minor* was seeded with an initial density of 100 gm⁻². Laboratory analysis of the wastewater determined a concentration of 70 ppm N and 15.6 ppm P. Finally, removal of total Kjeldahl nitrogen and total phosphorus of up to 86.5 and 67%, respectively, was achieved. In addition, the proximal analysis of the dehydrated macrophyte showed high contents of soluble carbohydrates (39.68%) of easy assimilation (Nitrogen Free Extract). The protein content on a dry basis reached 23.84%, showing a high biological value and the potential to replace conventional protein sources such as fish and soybean meal in pet food.

Keywords: Nitrogen and Phosphorus, Macrophyte *Lemna Minor*, Wastewater, Eutrophication, Nutrient Uptake Efficiency, Proximal Analysis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	iii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	v
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	vii
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
DEDICATORIA.....	xi
DEDICATORIA.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	i
INDICE DE TABLAS	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	3
4. PROBLEMA DE INVESTIGACION	4
5. OBJETIVOS	6
4.1. Objetivo General.....	6
4.2. Objetivos específicos.....	6
5. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS.....	7
6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	8
6.1. Aguas grises domiciliarias	8
6.2. Características de las aguas grises.....	8
6.2.1. Características físicas de las aguas grises domiciliarias	9
6.2.2. Características químicas inorgánicas.....	11
6.2.3. Características químicas orgánicas	12

6.2.4. Características biológicas	12
6.2.5. Nutrientes en aguas grises.....	13
6.2.5.1. Nitrógeno	13
6.2.5.2. Fósforo	14
6.3. Sistemas domiciliarios de recuperación y tratamiento de aguas grises.....	15
6.3.1. Sistemas de recuperación de aguas grises basados en la naturaleza SBN	15
6.3.2. Lenteja de agua Lemna minor	17
6.3.2.1. Descripción	17
6.3.2.2. Taxonomía.....	18
6.4. Remoción de nutrientes por medio de macrófitas acuáticas	18
6.4.1. Absorción de N y P usando Lemna minor	20
6.4.2. Contenido de nutrientes de Lemna minor.....	21
7. VALIDACIÓN A LA PREGUNTA CIENTÍFICA	23
8. MARCO METODOLÓGICO	24
9. RESULTADOS Y DISCUSION	35
9.1. Producción y proceso de aguas grises en un entorno doméstico rural	35
9.2. Operacionalización del sistema de fitoremediación de aguas grises para la recuperación de nutrientes.....	37
9.2.1. Acondicionamiento del biofiltro	38
9.2.2. Introducción de la especie fitoremediadora Lemna minor.....	39
9.2.3. Desarrollo vegetativo de Lemna minor	40
9.3.1. Contenido de nutrientes en al agua gris domiciliaria.....	41
9.3.2. Acondicionamiento de Lemna para análisis proximal.....	42
9.3.3. Análisis bromatológico de biomasa del sistema de biofiltro.....	43
10. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS).....	47
10.1. Impactos técnicos.....	47
10.2. Impactos sociales	47

10.3. Impactos ambientales	47
10.4. Impactos económicos	47
11. CONCLUSIONES.....	49
12. RECOMENDACIONES	50
13. REFERENCIAS	51
14. ANEXOS	64

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Beneficiarios del proyecto</i>	3
Tabla 2 <i>Actividades y sistema de la tarea en relación a los objetos planteados</i>	7
Tabla 3. Producción de agua gris en el entorno domiciliario rural	33
Tabla 4 <i>Peso fresco y seco de Lemna cosechada al final del estudio</i>	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología de la investigación	24
Figura 2. Ubicación del sitio del estudio.....	27
Figura 3. Diagrama del sistema de recolección de aguas grises domiciliarias.....	35
Figura 4. Distribución de los tanques trampa de grasas y lodos	36
Figura 5. Producción de Agua Gris en el Entorno Domiciliario	37
Figura 6. Diagrama del estanque para la extracción de nutrientes con <i>Lemna minor</i>	38
Figura 7. Densidad de <i>Lemna minor</i> en el estanque de recuperación de nutrientes	40
Figura 8. Concentración de nutrientes en el agua gris domiciliaria	42
Figura 9. Análisis proximal de Lemna minor deshidratada	43
Figura 10. Proporción de extracción de N inorgánico usando <i>Lemna minor</i>	46

1. INFORMACIÓN GENERAL

1.1. Título del proyecto:

“SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN UN ENTORNO DOMÉSTICO RURAL PARA LA RECUPERACIÓN DE NUTRIENTES EN EL CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERÍODO 2021-2022”

1.2. Lugar de ejecución

Parroquia Once de Noviembre

1.3. Institución, Facultad y Carrera que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Ingeniería en Medio Ambiente (CARRERA)

1.4. Equipo de Trabajo:

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

Erika Caiza (Estudiante)

Mireya Pujota (Estudiante)

(Lector 1) Ing. José Agreda, M.Sc.

(Lector 2) Lcdo. Patricio Clavijo Cevallos, M.Sc.

(Lector 3) Ing. José Antonio Andrade Valencia, M.Sc.

1.5. Área de conocimiento:

Ambiente

1.6. Línea de investigación:

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección ambiental

1.7. Sublínea de investigación por carrera

Manejo y conservación de Recurso Hídrico

1.8. Línea de vinculación CAREN

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

2. JUSTIFICACIÓN

El suministro de agua para uso doméstico es fundamental para la seguridad hídrica. Por ello, el aumento de los volúmenes de agua en un entorno doméstico rural mejoran la calidad de vida personal y familiar, además, de la salud humana (Bradley & Bartram, 2013). Por otra parte, Frumin & Gildeeva, (2015) manifiestan que un cuerpo de agua saludable contiene una concentración ínfima de contaminantes y elevada de oxígeno disuelto (OD). Este último suele ser afectado cuando se presenta un exceso de nutrientes, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P), debido a su gran influencia en una problemática ambiental como la eutrofización de los ecosistemas hídricos. Cabe mencionar que las actividades antropogénicas, industria y agricultura, contribuyen mayoritariamente a este proceso a través de las aguas grises (Diatta *et al.*, 2020). A nivel doméstico o familiar, la producción de aguas grises, abarcan actividades tales como lavado de utensilios y ropa, preparación de alimentos, etc., cabe resaltar que estas no presentan contacto con excretas, sangre y fluidos corporales (Arias & Guañuna, 2019). Por lo antes expuesto, se recurrió a una macrófita acuática utilizada universalmente, la lenteja de agua (*Lemna minor*), con el objetivo de remover N y P del agua gris producida en un entorno familiar rural de la ciudad de Latacunga. Según Kalengo *et al.*, (2021) esta planta presentó buen crecimiento en diversas condiciones ambientales, estableciéndose un óptimo desempeño en la remediación de aguas eutróficas, especialmente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

La importancia de este estudio radica en comprender que en un entorno de vivienda rural en el Ecuador, las aguas residuales no son gestionadas adecuadamente, vertiéndose directamente a los cuerpos de agua locales, lo que afecta la integridad ambiental de las escuelas de estas regiones. Finalmente, para dar solución a este problema en un medio rural, se ha desarrollado un sistema de extracción de Nitrógeno y Fósforo de aguas grises para recuperar nutrientes mediante el uso de agentes por medio del uso de macrófitas (*Lemna minor*). El cultivo de *Lemna* se realizó, incluyendo aguas grises domiciliarias, previa la remoción de grasas y jabones.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Tabla 1

Beneficiarios del proyecto

Beneficiarios directos		Beneficiarios indirectos	
Entorno familiar local		Habitantes de la Provincia de Cotopaxi	
Hombres	2	Hombres	169.303
Mujeres	6	Mujeres	180.237
TOTAL	8	TOTAL	349.540

Fuente: (INEC, 2010).

4. PROBLEMA DE INVESTIGACION

El recurso hídrico empleado en los hogares, se ha considerado durante mucho tiempo como agua potable limpia, esta ingresa a la casa desde la red municipal y egresa como agua residual. Sin embargo, las aguas residuales provenientes de baños, duchas, lavadoras, lavavajillas y fregaderos se encuentran en algún punto intermedio, denominándose aguas grises, que generalmente conforman el 50-80% de las aguas residuales de un hogar. (Zambrano *et al.*, 2021). Además, el origen de las aguas residuales grises es influenciado por la calidad del agua ofertada por la localidad incidiendo en su composición, que contiene una gran variedad de contaminantes (sustancias ácidas y alcalinas, sólidos suspendidos y disueltos, grasas, aceites, metales pesados, productos químicos sintéticos y organismos patógenos). Estas aguas domésticas se suelen verter de forma directa sin previo tratamiento hacia cuerpos de agua como acequias, quebradas y ríos, sin considerar la concentración existente de nutrientes como el Nitrógeno (N) y Fósforo (P). Por lo tanto, estos nutrientes sobreestimados contribuyen a un problema ambiental que afecta directamente la degradación de la calidad del agua: rico. Es un proceso de contaminación que estimula el aumento de las plantas y las algas, reduciendo el oxígeno y contribuye a la degradación, agua acidificante, perder bolas. Los sistemas N y P en los sistemas de agua dulce son principalmente de agricultura y descarga de aguas residuales de hogares e industrias.

En contraste, a escala global, los hogares son las principales fuentes puntuales de nutrientes en áreas urbanas densamente pobladas y la presión ambiental que causan está determinada por el nivel de saneamiento, la conexión a los sistemas de alcantarillado o la falta de ellos, y la presencia y el nivel de tratamiento de aguas residuales (Srirangarayan *et al.*, 2020). Asimismo, la eutrofización incide en la calidad de los servicios ecosistémicos, como el suministro de agua potable, la pesca, la acuicultura y el turismo, que son afectados negativamente. De igual manera, los impactos no solo se rigen a sistemas de agua dulce, también atañen a los mares y océanos, que en última instancia sufren de floraciones de algas nocivas e hipoxia debido a la descomposición de la biomasa de algas (van Puijenbroek *et al.*, 2019).

Por consiguiente, se desarrolló una gestión sostenible de estos efluentes producidos a escala rural en un entorno doméstico, con la finalidad de mitigar el vertimiento excesivo de nutrientes (N y P) hacia los cuerpos de agua. Se empleó la lenteja de agua (*Lemna*

minor), es un macrofito acuático que puede absorber y reparar los contaminantes de desechos. En resumen, una recuperación del sistema de nutrientes de agua gris se ha llevado a cabo en un entorno familiar rural para evaluar la efectividad de los nutrientes de las lentes de agua (*Lemna minor*) en el agua gris domiciliaria.

5. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

- Implementar un sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes mediante *Lemna minor*, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, período 2021-2022.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar el volumen de producción y proceso de aguas grises en un entorno doméstico rural.
- Implementar un sistema de fitoremediación de aguas grises para la recuperación de nutrientes usando *Lemna minor*.
- Establecer la capacidad de absorción de nutrientes de la especie *Lemna minor*.

5. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS

Tabla 2

Actividades y sistema de la tarea en relación a los objetos planteados

Objetivos Específicos	Actividad	Resultado Esperado	Medio de Verificación
Determinar el volumen de producción y proceso de aguas grises en un entorno doméstico rural.	Selección del domicilio para el estudio de recuperación de nutrientes.	Selección y georreferenciación del entorno domiciliario.	Mapa de Ubicación.
	Identificación de fuentes y destinos de agua grises.	Levantamiento de información inicial.	Diagramas y matrices
	Aforo del caudal de agua gris diariamente en las trampas de grasa.	Obtención del caudal medio producido por el domicilio.	Hoja de registro de caudales
Implementar un sistema de fitoremediación de aguas grises para la recuperación de nutrientes usando <i>Lemna minor</i> .	Identificación del área a implementar el sistema de biofiltro.	Georreferenciación	Diagramas de distribución de elementos de colección de aguas grises
	Selección del sistema de recuperación de aguas grises	Revisión de información bibliográfica técnica.	Lista de sistemas adecuados para el caso. Sistema seleccionado
	Desarrollo del sistema de biofiltro	Construcción del sistema de tratamiento	Sistema funcionando
	Instalación de los elementos de fitoremediación	Implementación de la planta acuática	Sistema funcionando
Establecer la capacidad de absorción de nutrientes de la especie <i>Lemna minor</i> .	Descripción de la especie <i>Lemna minor</i> .	Recopilación de información bibliográfica.	Resumen consolidado
	Recolección y análisis de muestras de biomasa del sistema de biofiltro.	Características bromatológicas de la biomasa.	Resultados de análisis proximal
	Determinación de la eficiencia del proceso	Porcentaje de proteínas y carbohidratos sintetizados por la Lemna.	Gráficos de eficiencia del proceso

6. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

6.1. Aguas grises domiciliarias

Según Marjoram (2014) las aguas residuales de uso doméstico son aquellas que provienen de las actividades del hombre en su rutina diaria. Estas aguas son recolectadas en los sistemas de alcantarillado y llevadas a una planta de tratamiento, o vertidas directamente al ambiente. La definición de aguas grises generalmente usada, es dada directamente por el Código Internacional de Plomería (IPC) de 2012, que establece que las aguas grises son "desechos descargados de baños, bañeras, duchas, lavadoras de ropa y bandejas de lavandería". En algunos países, no se incluyen las aguas residuales de fregaderos de cocina o lavavajillas.

Adicionalmente, las aguas residuales grises no deben incluir ningún efluente de los inodoros. Se ha estimado que la fracción total de aguas residuales grises representa aproximadamente el 75% de las aguas residuales residenciales combinadas (Osorio-Rivera, 2021).

6.2. Características de las aguas grises

En general, las aguas residuales nacionales incluidas todas las aguas se utilizan para fines de higiene (baños, cocinas, lavanderías, etc.), e incluyen principalmente agua con desechos humanos que llegan a la red de drenaje a través de los residuos en las utilidades hidráulicas de residuos internos de edificios y entornos residenciales. Además, se supone que el acto y los efectos de introducir contaminantes, formas de energía o condiciones inducidas en el agua, directa o indirectamente, causan cambios en la calidad del agua y se relaciona con sus usos o funciones posteriores.

Las aguas residuales domésticas se componen de elementos físicos, químicos y biológicos y son una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas, en suspensión o disueltas. (Osorio-Rivera, 2021).

Los autores Khajvand *et al.*, (2022) indican que la distribución de probabilidad de las aguas residuales domésticas están constituidas en un 99,9 % por agua y 0,1% por residuos sólidos orgánicos e inorgánicos. Esta fracción ínfima de sólidos es la fuente de contaminación y constituye la base de los problemas de gestión y eliminación. Las proteínas son los compuestos más abundantes, seguido de los carbohidratos y los lípidos. Además, existen compuestos tenso-activos, fenoles, aceites, pesticidas y otros

compuestos menos comunes, como metales pesados y compuestos órgano-clorados. Las principales pruebas para determinar la carga orgánica de las aguas residuales domésticas son la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno. Estas aguas pueden albergar bacterias causantes de enfermedades, que incluso pueden afectar el sistema digestivo humano.

6.2.1. Características físicas de las aguas grises domiciliarias

- **Olor.-** Esta es una característica importante porque se debe a la presencia de gases liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Las aguas residuales tienen un olor característico debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno, resultado de la reducción microbiana del sulfato a sulfuro. La caracterización y medición de olores incluye cuatro elementos importantes como son la tipificación, la detectabilidad, la sensación y la intensidad (Khanam & Patidar, 2021).
- **Temperatura.-** Esta es otra propiedad específica para el agua residual, ya que presenta una temperatura más alta que el agua no contaminada. Esto se debe que en este tipo de agua hay mayor actividad bioquímica de microorganismos, lo que es un factor proporcional al aumento de temperatura, además de la influencia de los puntos de descarga de agua caliente. La temperatura del agua es un parámetro importante ya que afecta el crecimiento de la vida acuática, al ser el oxígeno menos soluble en agua tibia (Osorio-Rivera, 2021).
- **Densidad.-** La densidad del agua residual se obtiene comparando la del agua normal y la del agua residual. La densidad depende de la temperatura del agua y en función de la concentración total de sólidos presentes en las aguas residuales (Khajvand *et al.*, 2022).
- **Color.-** El color en las aguas residuales se debe a la presencia de sólidos en suspensión, y su intensidad se debe a la presencia de coloides y sustancias disueltas. El color es un aspecto importante porque se puede determinar a simple vista. Puede ser producto de sustancias arrojadas a las alcantarillas de las cuales encontramos colorantes de industrias, ácidos húmicos y fúlvicos, taninos y muchos otros elementos. Cabe señalar que con esta característica

las condiciones encontradas es posible estimar la calidad del agua en su conjunto.

- **Turbidez.-** La suciedad, el cabello y las fibras lavadas con agua son ejemplos de sólidos presentes en las aguas grises. Estas partículas y coloides causan turbidez e incluso pueden provocar el bloqueo físico de la tubería. Las concentraciones más altas de sólidos en suspensión se encuentran típicamente en las aguas grises de cocinar y lavar. De manera similar, la concentración de sólidos en suspensión depende en gran medida de la cantidad de agua utilizada. La turbidez es un parámetro que indica la calidad de las aguas residuales de salida debido a la relación entre el coloide y la sustancia que queda en la suspensión. La adquisición de la medición de la turbidez se realiza mediante métodos físicos prácticos, como la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad de la luz confinada en la suspensión estándar. Esta propiedad es importante para determinar la cantidad de coloide en una suspensión.

La luz es absorbida en la superficie del agua, impidiendo su transmisión, donde hay un cambio proporcional en dos propiedades, como son la turbidez y la concentración de sólidos en suspensión en las aguas residuales (Niño & Martínez, 2013).

- **Tamaño de las partículas.-** El tamaño de las partículas de las aguas residuales varía según su nivel de fraccionamiento, siendo 100 μm el tamaño general para las partículas sedimentables. Las aguas grises contienen productos como jabón, champú, gel de ducha, polvos, piel, cabello y patógenos, que son el resultado de las actividades humanas. Todos estos materiales se fraccionan y contribuyen a la proporción de partículas suspendidas en el agua gris domiciliaria. El tamaño de partícula de las aguas grises está en el rango de 10-100 μm . La materia orgánica (soluble y particulada) en aguas grises es un parámetro importante que ayuda a evaluar la calidad del tratamiento para su reutilización, debido a su riesgo potencial para el aire, el suelo y las plantas (Spychała *et al.*, 2019).
- **pH.-** El pH en aguas grises depende en gran medida de la acidez o la alcalinidad en el suministro de agua y normalmente está dentro del rango de

5 a 9. Las aguas grises de efluentes de lavandería generalmente exhibirán un pH alto debido a la presencia de los materiales alcalinos utilizados en los detergentes. Los principales componentes químicos que se encuentran en las aguas grises que se generan de las actividades de limpieza o lavado son los surfactantes. Los tenso-activos catiónicos son generalmente a base de sal, y constituyen una fuente de amonio en las aguas grises. Otros componentes que se encuentran en las aguas grises también incluyen nitratos y fosfatos que provienen de tenso-activos de amonio y desinfectantes de ropa, respectivamente. Los jabones a base de sodio también contribuyen con una cantidad significativa de sodio en aguas grises (Oteng-Peprah *et al.*, 2018).

6.2.2. Características químicas inorgánicas

Osorio-Rivera (2021), detalla los siguientes parámetros como los principales a considerar en las características de las aguas grises en general:

- **Nitrato inorgánico.**- Originado en la descomposición de plantas y animales o compuestos nitrogenados, en presencia de oxígeno, mismos a los que los microorganismos transforman a sustancias orgánicas en el agua.
- **Sulfatos.**- Son solubles y surgen de la oxidación del sulfuro por acción de bacterias. Sus concentraciones en los cuerpos de agua contaminados oscilan entre 20 y 50 mg/l.
- **Cromo.**- Se presenta de forma natural, pero en aguas residuales es un metal contaminante que forma complejos de amina y cianuro en el agua, formando complejos estables con otros compuestos como cloruros, sulfatos, sales de amonio, cianuros y nitratos, los que presentan una toxicidad tolerable para los organismos.
- **Cloruro.**- La presencia de cloruros se deben a la disolución de depósitos minerales, provenientes de diversos afluentes de la actividad industrial o doméstica por lo que también puede ser considerado como un indicador de contaminación microbiana natural o de un patógeno indeseable.
- **Calcio.**- La presencia de este metal hace que forme sales solubles con los aniones bicarbonato, sulfato, flúor y cloruro, y se relacionan con el grado de mineralización.

6.2.3. Características químicas orgánicas

- **Carbohidratos Orgánicos.**- Comprenden alrededor de 25 compuestos orgánicos de las aguas residuales domésticas que incluyen azúcares y almidones, mismos que se descomponen por la actividad microbiana presente en las aguas residuales. Los carbohidratos complejos son difíciles de descomponer (Marjoram, 2014).
- **Proteínas.** Las proteínas constituyen el 65% de la materia orgánica de las aguas residuales domésticas y son los principales componentes químicos removidos en el sistema de tratamiento. El sulfuro de hidrógeno, que da el olor característico de las aguas grises, se produce debido al azufre de los aminoácidos presentes en las proteínas (Osorio-Rivera, 2021).
- **Lípidos.** Consisten en aceites y grasas que conforman el 10% del componente orgánico. Se consideran indeseables porque contribuyen a la obstrucción de tuberías, también producen olores e inhiben el crecimiento microbiano. Los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales comprenden grasas y aceites, así como diferentes moléculas orgánicas sintéticas como los tenso-activos que no son fácilmente biodegradados. La descarga de aguas grises con altas concentraciones de DBO y DQO en las aguas superficiales da como resultado el agotamiento del oxígeno, que ya no está disponible para la vida acuática (Diatta *et al.*, 2020).

6.2.4. Características biológicas

El agua aceitosa contiene microorganismos como bacterias, protozoos y helmintos que ingresan al agua a través del contacto corporal. La manipulación inadecuada de alimentos en la cocina y la manipulación directa de alimentos contaminados se han identificado como fuentes de bacterias patógenas entéricas como *Salmonella* y *Campylobacter* en las aguas grises. La contaminación fecal también es común en aguas grises y se asocia en gran medida con una higiene personal deficiente y la eliminación de aguas grises que contienen sólidos del lavado de pañales. Se han detectado patógenos como *Escherichia coli* y virus entéricos en aguas grises en la mayoría del agua que proviene de fuentes de lavandería durante un programa de monitoreo microbiano en Melbourne,

Australia. En este estudio, el 18% de las muestras contenían virus entéricos, 7% enterovirus y el 11% de *E. coli*. Los indicadores más comunes utilizados para evaluar la contaminación fecal son las bacterias coliformes y *E. coli*. Además de una gran colección de patógenos relacionados con los excrementos asociados con las aguas grises, se han identificado una serie de patógenos en aguas grises, y estos son *Pseudomonas*, *Legionella*, *Giardia*, *Cryptosporidium* y *Staphylococcus aureus* (Oteng-Peprah *et al.*, 2018).

6.2.5. Nutrientes en aguas grises

6.2.5.1. Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un contaminante de aguas residuales que debe eliminarse por cuanto reduce el oxígeno disuelto en las aguas superficiales, es tóxico para la vida de los ecosistemas acuáticos y representa un riesgo para la salud pública. En las aguas residuales, el N puede existir en muchas formas y las transformaciones que puede sufrir durante los diferentes procesos de tratamiento son numerosas. Estas modificaciones ayudan a convertir el nitrógeno amoniacal en otros productos que se separan fácilmente de las aguas residuales. Durante la nitrificación y desnitrificación, la eliminación de N se lleva a cabo en dos pasos de conversión. (Sánchez Ortiz, 2013).

El proceso de absorción de N de aguas residuales por el método biológico es el más adecuado por su alta eficiencia de eliminación, alta estabilidad y fiabilidad, así como por el fácil control del proceso y su menor costo en comparación con otros métodos de tratamiento.

El proceso de nitrificación es el primer paso en el proceso de eliminación de N de las aguas residuales. Este proceso es posible gracias a dos géneros de bacterias, nitrosomonas y nitrobacter. Las bacterias nitrificantes son organismos extremadamente sensibles que a menudo son afectados por factores tales como temperatura, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, etc. La desnitrificación es la segunda etapa de la eliminación de N de las aguas residuales, que ocurre en condiciones anóxicas, donde el nitrato se reduce primero a nitrito y luego a gas N, por la acción de bacterias heterótrofas. Estas bacterias utilizan el carbono de la materia orgánica para la síntesis

celular y energía, y en condiciones de hipoxia, utilizan el nitrato como aceptor de electrones. El proceso de desnitrificación puede verse también afectado por factores, como la temperatura, el oxígeno disuelto, el pH, la cantidad de materia orgánica disponible y la concentración de nitrato (Garcia *et al.*, 2021).

6.2.5.2. Fósforo

El P es un nutriente importante, aunque en concentraciones ligeramente elevadas, puede desencadenar la eutrofización. Las aguas grises normalmente contienen un bajo nivel de nutrientes (N, P) En el primer proceso, la nitrificación, a través de la demanda de oxígeno del amoníaco, se reduce al convertirlo en nitrato. Sin embargo, durante esta fase, N apenas cambia de forma y no se elimina. de 4-14 mg l⁻¹. En los humedales construidos por flujo subterráneo, el P se adsorbe principalmente en el material filtrante o precipitado. El fósforo (P), es responsable del crecimiento excesivo de organismos fotosintéticos (eutróficos). Todos estos factores hacen que la legislación nacional sea cada vez más restrictiva en los límites máximos admisibles para este parámetro en los efluentes domiciliarios (Kasak *et al.*, 2011).

El aumento de los aportes de P en la escorrentía antropogénica puede acelerar la eutrofización del agua dulce. Por lo general, los fosfatos se utilizan como constructores en detergentes, y a menudo se usan como tripolifosfato de sodio o fosfatos de potasio. El papel principal de los fabricantes es reducir la dureza del agua. Esto se logra uniendo y neutralizando calcio, magnesio, hierro e iones de manganeso, lo que permite que el surfactante trabaje en la suciedad y mejore el rendimiento de lavado. (Turner *et al.*, 2013).

Cuando el fosfato se riega en el suelo, puede ser adsorbido químicamente, absorbido por las plantas o lixiviado a través del perfil de los suelos. En general, el fosfato se absorbe químicamente en las superficies minerales de los suelos a través del intercambio de ligandos. La absorción de P depende principalmente de las concentraciones de oxihidróxido de hierro y/o aluminio, así como de aluminosilicatos. Cuando todos los sitios

activos del suelo estaban ocupados por P, la irrigación adicional resultó en P libre sin unir. Este P libre puede entonces moverse por el perfil del suelo, ser interceptado por el agua subterránea o moverse a través de la superficie al interactuar con la escorrentía de agua superficial. Dos procesos a menudo explican la disponibilidad química de P; Los removedores de posiciones de adsorción en el hierro y los oxihidroxidos de hierro y aluminio, relacionados con las superficies minerales de los relámpagos y la materia orgánica, así como las compatriotas de disolución de P están presentes en el suelo mineral y / o fertilizante. Estos movimientos de P pueden causar contaminación ambiental y contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua en los ecosistemas de agua dulce (van Puijenbroek *et al.*, 2019).

6.3. Sistemas domiciliarios de recuperación y tratamiento de aguas grises

6.3.1. Sistemas de recuperación de aguas grises basados en la naturaleza SBN

Se estima que un tercio de la población mundial no tiene acceso a agua potable limpia. La escasez mundial de agua se debe a una combinación de crecimiento de la población, desarrollo económico con uso extensivo del agua en la agricultura y la industria, aumento del nivel de estilo de vida y cambios en la dieta. Además, las regulaciones para el tratamiento de aguas residuales civiles requieren rendimientos progresivamente más altos en la eliminación de contaminantes tradicionales y emergentes, lo que aumenta el consumo de energía y los costos operativos (Bain *et al.*, 2018).

La gestión sostenible de los recursos hídricos es esencial, iniciando con la reutilización de aguas grises, misma que puede desempeñar un papel fundamental, convirtiendo una fracción significativa de las aguas residuales de un residuo a un valioso recurso hídrico. Se define como aguas grises a las aguas residuales domésticas constituidas por todas las aguas servidas domésticas con la excepción de las descargas de inodoros. Las aguas grises pueden representar hasta el 75% del total de las aguas residuales nacionales, lo que representa hasta 100-150 L PE⁻¹ día⁻¹ en los países de altos ingresos, y volúmenes más pequeños en los países de bajos ingresos. La separación de la fuente de aguas grises puede reducir el volumen enviado a las plantas de tratamiento de aguas residuales y minimizar la

energía requerida para su gestión, porque solo la fracción más contaminada de agua residual doméstica se enviaría a la planta de tratamiento. Además, las aguas grises recuperadas se pueden reciclar localmente para otros usos, que de otro modo emplearían agua de alta calidad, y así, de esta manera, se promueve una economía circular (Masi *et al.*, 2017).

Las soluciones basadas en la naturaleza 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, requerirá simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad" y también como "soluciones vivas inspiradas, apoyadas continuamente y utilizando la naturaleza, que están diseñadas para abordar diversos desafíos sociales de una manera eficiente en el uso de los recursos y de manera adaptable y proporcionar simultáneamente beneficios económicos, sociales y ambientales".

Las SBN son técnicas que imitan los procesos naturales en paisajes urbanos, incluida la gestión de aguas residuales, con bajos consumos de energía y productos químicos (Zambrano *et al.*, 2021).

Se han implementado diferentes SBNs, incluidos humedales construidos, techos verdes, paredes verdes/muros vivos y espacios verdes urbanos (por ejemplo, parques, árboles de la calle). Las SBN contribuyen a ahorrar energía a través de la reducción de las cargas de enfriamiento, reducen el riesgo de inundación y promueven un crecimiento económico sostenible. Varios estudios han demostrado los efectos positivos inducidos por la ecologización de terrenos urbanos baldíos en el bienestar de las personas. Finalmente, las SBN apoya la biodiversidad al proporcionar hábitats para diferentes especies, significativamente. Los aspectos de planificación y diseño deben tenerse en cuenta al implementar SBN. La apariencia estética es esencial para su integración con el paisaje circundante y la aceptación de las comunidades locales. Uno de los límites más críticos para la aplicación de SBN en áreas urbanas densamente construidas, es la falta de espacio disponible. Sin embargo, las superficies exteriores de los edificios pueden proporcionar espacios no utilizados en áreas densamente habitadas. Desde esta perspectiva, los techos y las paredes verdes representan dos ejemplos de SBNs que se adaptan bien a las áreas urbanas.

Además, el uso de agua grises para el riego puede ser la solución a la principal crítica dirigida a la ecologización urbana, es decir, la gran cantidad de agua para mantenerla (Boano *et al.*, 2019).

6.3.2. Lenteja de agua (*Lemna minor*)

6.3.2.1. Descripción

Las lentejas de agua, se encuentran entre las plantas con flores más pequeñas. Son plantas perennes acuáticas caducifolias, que flotan libremente y que forman una estera de follaje en rápida expansión en superficies de agua tranquila. *Lemna minor*, es quizás la más extendida de las lentejas de agua, que se encuentra en todo el mundo. Su denominación común se debe porque a los patos les gusta comerla. Los peces también consumen las plantas y pueden ser un componente importante para el control de la población en estanques ornamentales. Es una mejora popular a los jardines y estanques acuáticos, donde no solo proporciona una cubierta de vegetación atractiva, sino que también detiene el crecimiento de algas. Cada planta consiste en una fronda verde ovalada redondeada y aplanada con una sola raíz que se arrastra hacia abajo. (Quiñonez, 2018).

Yang *et al.*, (2020) señalan que esta especie presenta hojas llamadas frondas de 8 (muy raramente hasta 10) mm de largo, y 0.6-5.0 (muy raramente hasta 7.0) mm de ancho, las que son de 1 a 1/3-2 veces más largo que ancho; brillante en la superficie superior, con algunas pápulas indistintas a lo largo de la línea mediana (pápulas cerca de la punta y por encima del ganglio algo más grandes que las intermedias), con 3 (raramente hasta 4-5) nervios. Los nervios laterales externos se originan en la parte inferior de los nervios laterales internos, y nunca es gibosa (no más grueso que aproximadamente 1 mm). En la superficie superior su coloración es ocasionalmente difusa rojiza (especialmente durante la estación fría), en la superficie inferior muy raramente ligeramente rojizo (pero mucho menos intensamente que en la superficie superior). La distancia es mayor entre los nervios laterales internos en o algo por debajo de la mitad de los nervios. Los espacios aéreos más grandes raramente son más anchos que 0,3 mm. La raíz generalmente es redondeada (material vivo y seco); no hay turiones sin

raíces que se hundan en el fondo del agua. Las plantas ocasionalmente florecen y muy raramente fructifican. El ovario contiene 1 óvulo y el estilo es de 0.10-0.15 mm de largo. El fruto es de 0.8-1.0 mm de largo, 0.8-1.1 mm de ancho, con margen alado de 0.05-0.10 mm de ancho. La semilla es de 0.7-1.0 mm de largo, 0.4-0.6 mm de grosor, blanquecina, con 10-16 costillas distintas, misma que permanece dentro de la pared de la fruta después de la maduración.

6.3.2.2. Taxonomía

El género *Lemna* incluye plantas acuáticas flotantes de la subfamilia Lemnoideae, mismas que conforman la familia Araceae (antes familia Lemnaceae) y pertenecientes a las monocotiledóneas. Fue descrita por Carlos Linneo en su obra *Species Plantarum* en 1753, quien la consideró como parte de la familia Araceae. Esta clasificación taxonómica fue actualizada por el botánico William Griffith en 1851, quien la clasificó como una familia separada Lemnaceae (Gualán, 2016). La clasificación taxonómica de las lentejas de agua (*Lemna minor*) es la siguiente:

Reino:	Plantae
División:	Fanerógama Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Alismatales
Familia:	Araceae
Subfamilia:	Lemnoideae
Tribu:	Lemneae
Género:	<i>Lemna</i>
Especie:	<i>Lemna minor</i>

6.4. Remoción de nutrientes por medio de macrófitas acuáticas

En cuanto al uso de plantas flotantes para el tratamiento de aguas residuales, diversos estudios de fitoremediación se han combinado para establecer las características requeridas por las plantas acuáticas para su uso en el tratamiento de aguas residuales.

Estos incluyen alta productividad, alta eficiencia en la eliminación de nutrientes y contaminantes, alto predominio en condiciones naturales adversas y facilidad de cosecha. Los estudios realizados con *Lemna minor* muestran que cumple con todos estos requisitos y se ha utilizado ampliamente en los sistemas de desinfección de aguas residuales, el rendimiento de la fábrica de lentes de agua se ha evaluado en los tipos de agua diferentes residuos para eliminar los nutrientes, descubrió, descubriendo que es una macrófita prometedora para este uso. Además, se observaron buenos resultados en la investigación con *Lemna minor* con un gran potencial para la eliminación de cadmio, selenio y cobre en aguas residuales contaminadas con estos elementos. Para la eliminación de nutrientes como el P, la lenteja de agua es capaz de reducir eficientemente los ortofosfatos en períodos cortos de entre 2 y 8 días, según estudios en condiciones de laboratorio. La principal ventaja de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que involucran plantas acuáticas en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales es el bajo costo de construcción y mantenimiento, además de ser fáciles de operar (Qadiri *et al.*, 2021).

La lenteja de agua común (*Lemna minor*) es una especie que puede considerarse como una alternativa para su uso en el tratamiento biológico de aguas residuales de lavado, dado que dicha agua tiene contaminantes orgánicos biodegradables y que una carga contaminante excede los valores permisibles para las regulaciones ambientales. Se ha determinado que los mejores porcentajes de remoción para DBO₅, DQO y TSS se obtuvieron con una tasa de retención hidráulica de 8 días, teniendo en cuenta que es necesario someter previamente las aguas residuales a un tratamiento primario de sedimentación. Las tasas de retención hidráulica durante 12 días solo pueden conducir al mismo porcentaje de rendimiento, por lo que no es necesario extender este período si no se garantiza una mayor eficiencia de eliminación.

Aunque la lenteja de agua puede beneficiarse de la presencia de nutrientes como N y P como fuente de alimento, es importante tener en cuenta que la presencia de altos niveles de nitrato no permite que se produzcan estas condiciones. Se producen condiciones anaeróbicas y, por lo tanto, pueden prevenir una mayor eliminación de P. El tratamiento biológico con *Lemna minor* es una alternativa que puede ser beneficiosa para los usuarios, desde un punto de vista económico y sobre todo medioambiental, ya que minimizaría las altas cargas contaminantes que este tipo de aguas residuales vierten en las distintas fuentes de agua. Además, al completar los procesos de eliminación, la

lenteja de agua también se puede utilizar como fertilizante dada la cantidad de nutrientes que habría podido absorber. Es importante tener en cuenta que los tiempos de retención hidráulica no requieren exceder los días de ocho, ya que se observó en la prueba piloto que después de este tiempo, la lenteja de agua no muestra ninguna eficiencia sustancial.

6.4.1. Absorción de N y P usando *Lemna minor*

Lemna minor, perteneciente al género *Lemna*, es la especie de lenteja de agua más extendida y se estudia ampliamente en el tratamiento de aguas residuales, principalmente debido a su rápido crecimiento y alta eficiencia de eliminación de nutrientes. Bajo condiciones climáticas favorables y un balance de nutrientes en los medios de cultivo, *Lemna minor* puede duplicar su biomasa en dos días. Se ha reportado una tasa de crecimiento de *L. minor* cerca de $29 \text{ gm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ en aguas residuales porcinas de alta concentración, mientras que el N Kjeldahl total (TKN) y el P total (TP) absorbidos por la lenteja de agua pueden llegar al 90 % y 88,6 %, respectivamente (Diatta *et al.*, 2020).

La asimilación de N por las hojas y raíces de la lenteja de agua parece ser el principal mecanismo de fijación de N en la planta. Sin embargo, una parte del N también se absorbe en la biomasa de lenteja de agua a través de las cianobacterias fijadoras de N asociadas y las algas cultivadas en estanques de lenteja de agua. El nitrato y el amonio son las principales formas de N disponible para la lenteja de agua; sin embargo, la absorción de amonio es de 3 a 11 veces mayor que la de los nitratos. El N se fija como proteína en la biomasa de lenteja de agua. Varios estudios reportan una cantidad variable de N absorbido por la lenteja de agua. En aguas residuales con una concentración inicial de N de 12 mg NL^{-1} , la lenteja de agua consumió N a razón de $446 \text{ mg}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Otro estudio informó la tasa de absorción de N de $547 \pm 136 \text{ mg N m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de lenteja de agua (Sánchez Ortiz, 2013).

A diferencia de otras plantas vasculares, *Lemna minor* absorbe una gran cantidad de P en su masa corporal. Sin embargo, en comparación con el N, el requerimiento de P de la lenteja de agua es muy pequeño para un crecimiento óptimo de la planta. El fosfato (PO_4^{-3}) es la forma preferida de absorción de P por la lenteja de agua. El P representa del 0,03 al 2,8 % de una masa seca típica de

lenteja de agua, mientras que el contenido de N es de aproximadamente el 0,8 al 7,8 %. La lenteja de agua puede acumular altas cantidades de P en su biomasa, por lo que la planta puede mantener su crecimiento en aguas con menos P. Cuando la lenteja de agua muere, el P almacenado en la biomasa vegetal está fácilmente disponible en el agua. La literatura muestra que *Lemna minor* tiene una capacidad variable de absorción de P en diferentes condiciones ambientales. La lenteja de agua muestra un crecimiento óptimo a una concentración de P de 4 y 22 mg PL⁻¹ de medio de crecimiento. Se ha reportado una absorción de P de 200 mg m⁻² d⁻¹ por *Lemna minor* cuando se cultiva en aguas residuales porcinas. Otro estudio informó la absorción de P de 13 a 58 mg P m⁻² d⁻¹ y reveló que la absorción de P por la lenteja de agua dependía de la concentración de N y la profundidad del estanque de crecimiento (van Puijenbroek *et al.*, 2019).

El contenido de proteínas de una lenteja de agua típica puede llegar al 45% de la masa seca total de las plantas. Debido al alto contenido de proteínas, la lenteja de agua cosechada es una fuente potencial de alimentos para humanos y animales. Con base en su potencial de tratamiento de aguas residuales, se plantea la hipótesis de que *Lemna minor* también se puede utilizar como una opción rentable y técnicamente factible para el tratamiento de lixiviados (Garcia *et al.*, 2021).

6.4.2. Contenido de nutrientes de *Lemna minor*

Los recursos de alimentación convencionales están disminuyendo y el alto costo para mantener al ganado es un dilema. Este aumento de la demanda de alimentos para animales requiere la búsqueda de alternativas más baratas sin explotar. La lenteja de agua es uno de esos sustitutos. La absorción de nutrientes de esta diminuta planta le proporciona los ingredientes que necesita para ser utilizada como suplemento alimenticio para una amplia variedad de animales, incluyendo aves, cerdos y animales masticadores. La lenteja de agua cultivada en condiciones ideales en desechos domésticos o animales y cosechada regularmente tendrá comúnmente un contenido de fibra cruda del 5-15%, que es bastante bajo, ya que no necesitan soportar estructuras verticales y un contenido de proteína cruda del 35-45%. La lenteja de agua cultivada en lagunas de desechos lácteos tenía el potencial de ser un suplemento proteico efectivo para granos tanto para forraje animal como para consumo humano. La descarga excesiva de nutrientes al medio ambiente conduce a la eutrofización con varios problemas. Sin embargo, la

lenteja de agua sirve como bombas de nutrientes que tienen una gran capacidad para absorber nutrientes y su alta eficiencia de eliminación de nutrientes se puede utilizar para limpiar las aguas residuales de una manera efectiva, barata y simple, al tiempo que proporciona alimentos ricos en nutrientes para la alimentación animal. El crecimiento de la lenteja de agua se debe principalmente a los residuos orgánicos (contaminantes), así como a los nutrientes inorgánicos en el estanque, junto con otros factores que pueden cambiar, como la temperatura, la luz solar y el pH.

Cualquier residuo orgánico que sea fácil de descomponer y tenga suficientes nutrientes puede ser utilizado para cultivar lenteja de agua.

Las fuentes más baratas de estos desechos son todo tipo de estiércol animal, desechos de cocina y desechos de muchas plantas de procesamiento de alimentos, efluentes de biogás y desechos de mataderos. Sin embargo, falta información técnica y agronómica sobre el cultivo de lentejas de agua y el uso de piensos, y los detalles de las actividades agrícolas no están ampliamente disponibles, y mucho menos los productores de ganado en los países. (Obinna *et al.*, 2021).

Las plantas acuáticas son buenas candidatas para eliminar el N en sistemas acuapónicos ya que presentan una alta tasa de absorción de nitratos cuando se les suministra solo este compuesto químico. El nitrato es la forma de N que las plantas absorben y utilizan para el crecimiento. Las plantas asimilan la mayor parte del nitrato absorbido en compuestos orgánicos de N; el nitrato se transforma en nitrito, que se transforma en amonio, y el N asimilado se incorpora a aminoácidos, que se utiliza en la síntesis de proteínas, lo que se traduce en el crecimiento de las plantas. Se ha demostrado que la composición química de las soluciones nutritivas utilizadas en hidroponía, modifica el contenido de proteína cruda en forrajes. Como parte de un sistema de recirculación acuícola, el agua en acuaponía siempre contiene amonio y nitrato disponible, lo que podría explicar los valores de proteína cruda observados en plantas hidrófitas, pudiendo llegar hasta al 38% en base seca, mostrando que la composición química de las plantas producidas en sistemas acuapónicos podrían verse afectadas por el tipo de sistema de producción (Martínez-Yáñez *et al.*, 2018).

7. VALIDACIÓN A LA PREGUNTA CIENTÍFICA

7.1. ¿El sistema de recuperación de nutrientes de aguas grises en un entorno doméstico rural es capaz de fijar N y P en material vegetal?

Sí, es probable la reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes mediante la macrófita *Lemna minor* porque de acuerdo a la producción de agua gris domiciliaria obtenida en el estudio (2.87 m³ mensuales), se alcanzó una remoción del nitrógeno total Kjeldahl y el fósforo total de hasta el 86.5 y 67%, respectivamente, durante un período de 10 días, bajo condiciones climáticas y nutricionales óptimas.

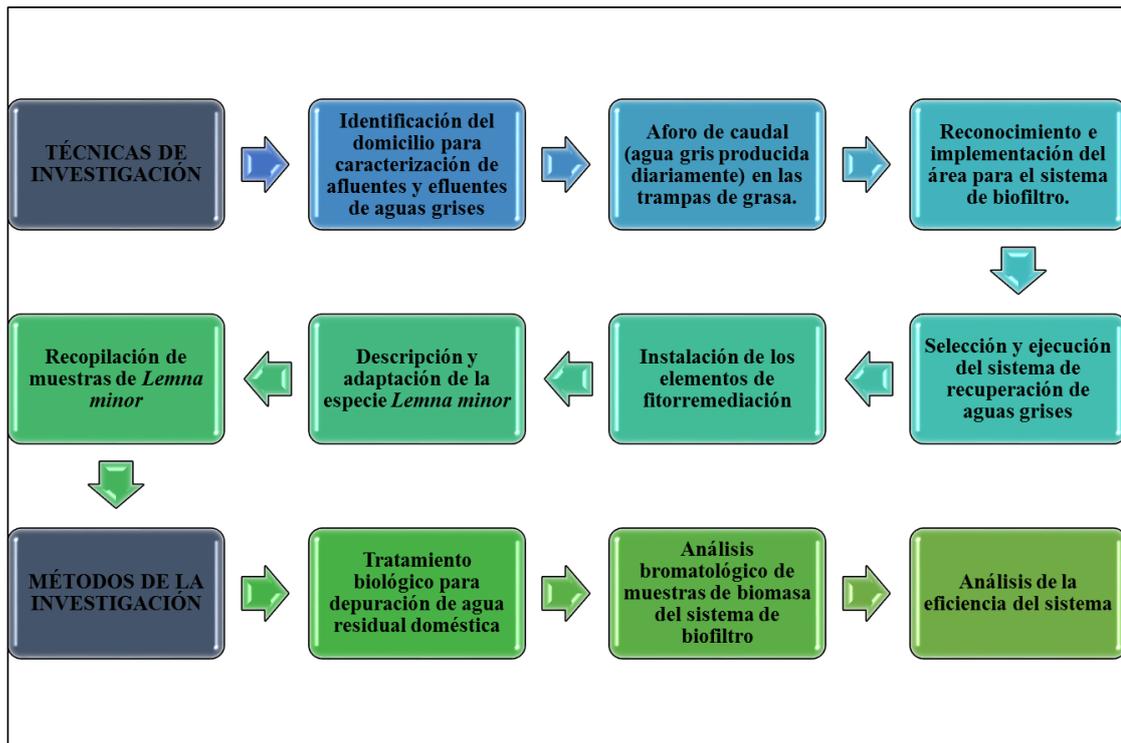
Por otra parte, el análisis proximal de *Lemna minor* deshidratada determinó altos contenidos de carbohidratos solubles (39.68%), de fácil asimilación (Extracto libre de Nitrógeno). El contenido de proteína en base seca llega a 23.84%, mostrando un alto valor biológico y el potencial de reemplazar fuentes de proteína convencionales como la harina de pescado y soya en la alimentación de animales domésticos. El contenido de proteína encontrado es similar en valor biológico al de la alfalfa y se puede evaluar su uso en actividades de producción sostenibles.

8. MARCO METODOLÓGICO

8.1. METODOLOGÍA

Figura 1. Metodología de la investigación

La metodología se efectuó de acuerdo a lo descrito en la siguiente figura:



Elaborado por: Caiza Erika & Pujota, Mireya.

8.2. Tipo de investigación

8.2.1. Descriptiva.- Para la consecución de los objetivos planteados, se estableció una investigación de carácter descriptiva, que permitió detallar las características y evolución de la población en estudio (Sistema de reutilización de aguas grises en un entorno doméstico rural para la recuperación de nutrientes). El estudio cuali-cuantitativo abordó variables observacionales en campo (circulación de aguas grises, implementación de estanque, producción de especie *Lemna minor*), estas variables fueron sometidas a mediciones registradas en campo y tabulación de datos para un posterior análisis e interpretación de los resultados.

8.3. Métodos y Técnicas

8.3.1. Métodos

8.3.1.1. Deductivo.- Se aplicó el método deductivo, identificando las variables generales que engloban el desarrollo de un sistema de recuperación de nutrientes (N y P) en aguas residuales domésticas mediante una macrofitas (*Lemna minor*), para conocer el contenido bromatológico específico y niveles de calidad de agua posteriores.

8.3.1.2. Analítico.- Además, se empleó el método analítico que parte del análisis de datos obtenidos en campo y procesados en laboratorio para determinar la eficiencia del sistema de recuperación de nutrientes y la viabilidad de implementación sostenible de la macrofitas.

8.3.2. Técnicas

8.3.2.1. Observación.- Se desarrolló una observación de campo, que permitió analizar la evolución del sistema de recuperación de nutrientes de aguas residuales mediante macrofitas. También, al ser una observación directa se obtuvo una valoración del problema de estudio y de los cambios que se produjeron en las unidades de investigación, estas fueron registradas mediante la recolección de muestras que permitieron un análisis proximal o bromatológico en laboratorio.

8.3.2.2. Medición.- Para este ítem se aplicaron muestreos, estos fueron determinados de acuerdo a la cantidad y forma de muestra requerida. La medición de datos permitió una tabulación y análisis de los resultados más acertada.

8.3.3. Instrumentos

8.3.3.1. Ficha de observación.- Se empleó este instrumento porque permitió recolectar los datos de las variables analizadas, obteniendo la mayor información posible durante los 4 meses de observación.

8.3.3.2. Cámara fotográfica.- Este instrumento se ha vuelto muy importante en la actualidad, debido a su uso técnico que permite ilustrar y representar información científica y que el ojo humano no puede percibir.

8.3.3.3. Hojas de cálculo.- Para el cálculo e interpretación estadística de los datos obtenidos en campo, se acudió al software de aplicación informática Microsoft Excel.

8.4. Área de estudio

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el barrio San José de Pichul, Parroquia Once de Noviembre, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. La ubicación geográfica del sitio del estudio corresponde al Plus Code 385X+5Q Pujilí (Figura 2). La Provincia de Cotopaxi se ubica en la Hoya Central Oriental del río Patate, misma que se extiende desde 78° 23' en la parte oriental, hasta 79° 20' en el sector occidental, en la longitud de Greenwich; en sus extremos desde 0° 20' hasta 1° 12' de latitud sur. La superficie total de la provincia de Cotopaxi es 6.108,23 km², con una densidad poblacional de 75 habitantes por km².

La “Parroquia Once de Noviembre” se encuentra ubicada en la Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, años atrás la Parroquia se la conocía con el nombre del caserío de San José de Ilinchisi, la misma que por Acuerdo Ejecutivo N0 417, con fecha 8 de junio de 1939, se eleva a “Parroquia Once de Noviembre”, desde entonces, es parte de las parroquias Rurales que pertenecen al Cantón Latacunga

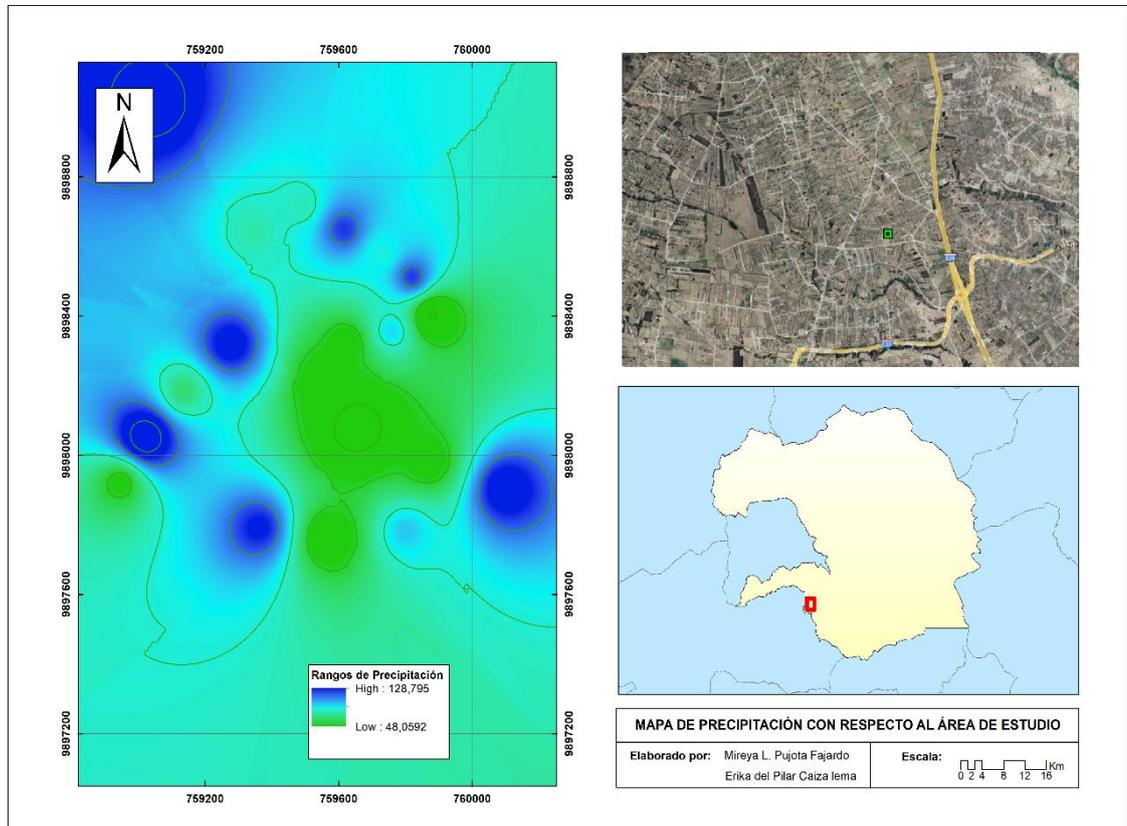
El rango altitudinal de la parroquia oscila entre los 2850 - 2.950 msnm. Debido a la escasez de precipitaciones, solamente se tiene un ciclo al año del cultivo (8-9 meses) aprovechando las lluvias de octubre, noviembre, diciembre y enero, haciendo que en el tiempo restante (3 meses) el terreno pase sin laboreo. A nivel parroquial predomina el clima ecuatorial mesotérmico seco, con precipitaciones a veces inferiores de 500 mm por año y temperaturas de hasta 20 °C.

Figura 2

Ubicación del sitio del estudio



Fuente: Elaborado por el equipo de investigación

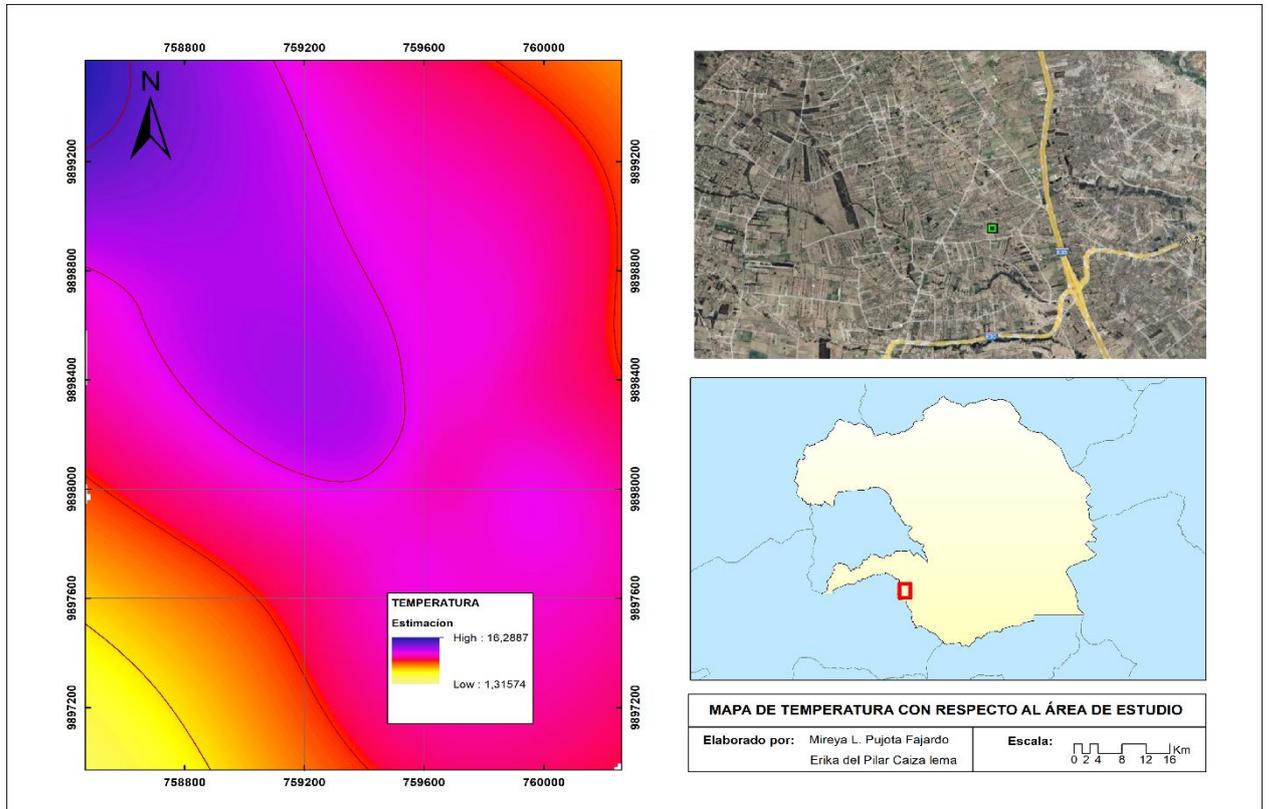
Figura 2*Mapa de Precipitación*

Fuente: Elaborado por el equipo de investigación

Nota: Tomada de Unidad de Investigación Climática. (Interfaz de Google Earth para datos de temperatura terrestre CRUTEM4, s.f.)

Figura 3

Mapa de Temperatura



Fuente: Elaborado por el equipo de investigación

Nota: Tomada de Unidad de Investigación Climática. (Interfaz de Google Earth para datos de temperatura terrestre CRUTEM4, s.f.)

8.5. Datos

Se seleccionó un entorno doméstico rural en el Barrio San José de Pichul, Parroquia Once de Noviembre, cantón Latacunga, con la finalidad de implementar un sistema de recuperación de nutrientes (N y P) provenientes de las aguas grises. Esta unidad de estudio alberga ocho personas que utilizan el agua en actividades tales como lavado de manos, ropa, en la cocina, etc. Para la fitoremediación, se empleó la macrófita *Lemna minor* que fue producida y sembrada en un estanque elaborado para este fin. Se hicieron 2 sistemas: El primero que recolecta las aguas grises domiciliarias y remueve las grasas y sólidos suspendidos (lodos). Este integra 2 tanques de 100 litros cada uno, con una dimensión el uno de 27.5 cm de radio y 90 cm de largo y forma redonda y el otro que mide 45 cm de alto por 55 cm de diámetro. El segundo sistema es para remover los nutrientes por medio de la Lemna. Aquí ingresa el agua sin grasa ni sólidos al estanque de 3.4 m³. Donde se siembra la Lemna para que crezca con los nutrientes del agua. El agua sigue ingresando y sigue saliendo luego de que ya va perdiendo nutrientes.

8.6. Determinación del volumen de producción y proceso de aguas grises en un entorno doméstico rural.

La identificación y selección de un entorno doméstico rural, en el Barrio San José de Pichul del cantón Latacunga, se realizó con base a las facilidades instaladas para la segregación de aguas grises y posterior reciclaje de nutrientes usando la planta acuática *Lemna minor*. En este punto, se estableció el tipo de uso/consumo de agua que ocurre en la unidad de estudio. Luego, se determina la factibilidad técnica del uso de aguas residuales y afluentes con base en su producción. Finalmente se mide el volumen de agua generado en el ambiente del hogar, esto se realiza en el primer sistema de eliminación de grasa. Mediante la adecuación de 2 tanques (100 l c/u) cuyo volumen cubre el requerimiento diario de 102.5 litros para un caudal de 0.0011 l/s, estos fueron receptores de los efluentes residuales de las tareas del hogar, evacuando los tanques para su reutilización en un proceso constante de recolección y remoción de grasas.

8.7. Implementar un sistema de fitoremediación de aguas grises para la recuperación de nutrientes usando *Lemna minor*.

Para la ejecución del sistema de recuperación de nutrientes en aguas grises mediante la lenteja de agua se aplicó las siguientes técnicas:

8.7.1. Selección del sistema de recuperación de aguas grises

El sistema seleccionado consistió en un Humedal de flujo superficial (FWS, por sus siglas en inglés), esta manifiesta que el flujo de agua es de tipo horizontal superficial. El agua se hace circular por la superficie del estanque que contiene una capa de agua no muy profunda, generalmente de unos 30 cm, aunque puede llegar a ser más de 1 m, en este caso fue 0,40 m. Además, se fijó el sistema de remoción de lodos y grasas, mediante un filtro ubicado entre 2 tanques receptores que serán detallados más adelante. Cabe resaltar que para la ejecución se utilizó materiales reciclados y de fácil obtención en el ambiente.

8.7.2. Reconocimiento del área para la implementación del sistema de biofiltro

Aplicando técnicas de observación directa, dentro del entorno domiciliario se identificó la infraestructura disponible para la instalación del biofiltro, determinándose que debe estar ubicado en un área que permita la conducción del agua residual por gravedad y con la menor pérdida posible de efluente. Del mismo modo, se adecuó el sitio y el estanque para que sea fácil la evacuación del agua, la cosecha de *Lemna* y la alimentación constante del estanque con efluente residual gris.

8.7.3. Construcción del sistema de biofiltro

Empleando técnicas de construcción artesanal, se implementó el biofiltro con mampostería de bloques de puzolana, recubierto con una lámina plástica impermeable. La dimensión proporcionada a la construcción se realizó con base en la producción de agua gris.

8.7.4. Instalación del sistema de fitoremediación

Luego de determinar las dimensiones y volumen de biofiltros, se procedió a llenarlos de agua gris tratada. En seguida, se sembró la especie *Lemna minor*. La densidad de siembra se estableció según experiencias registradas en la literatura científica.

8.8. Establecimiento de la capacidad de absorción de nutrientes de la especie *Lemna minor*

La capacidad de absorción de nutrientes se valoró de acuerdo a los siguientes ítems:

8.8.1. Contenido de nutrientes en al agua gris domiciliaria

De forma preliminar se determinó el contenido de N, P, K y Ca en el agua gris residual, que posteriormente es sometida a un proceso de extracción de nutrientes.

Se realizó el muestreo de acuerdo con los protocolos otorgados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) numeral 4. Se determinó los valores de los nutrientes en el laboratorio certificado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE). Posteriormente, se hizo el análisis de los datos obtenidos para determinar la disponibilidad de N y P en el agua, el que sustentará el desarrollo de la lenteja de agua.

8.8.2. Desarrollo de la especie *Lemna minor* cultivada

La planta de Lemna se recogió en un tanque de otra localidad para ser sembrada en el sitio del estudio. En el sitio del estudio se pusieron tres tanques rectangulares de 100 litros para que se adapte al sitio y aumentar la cantidad de planta, esto durante 21 días. Una vez que se tuvo suficiente planta, se sembró en el estanque de 3.4 m³, en donde permanecieron 28 días más hasta la cosecha. En este estanque negro se pone el agua gris sin grasa ni lodos para que desarrolle la Lemna. La cosecha se hizo de este estanque al final del ensayo (28 días) para análisis de laboratorio. Se registró el crecimiento de cobertura de la lenteja de agua en el estanque de fitoremediación, en kg m⁻². Adicionalmente, al final del estudio se determinó el desarrollo radicular de la *Lemna*. El tamaño del estanque fue determinado por la disponibilidad de materiales y la cantidad de efluente producido en el domicilio, este factor también influyó en la construcción de un estanque amplio.

Tabla 3.

Producción de agua gris en el entorno domiciliario rural

Día	Profundidad Reservoirio(m)	Disminución de nivel (m)	Volumen consumido (l)	Semana	Consumo (l)
0	1.000	0	0		
1	0.933	0.067	100.50		
2	0.843	0.090	135.51		
3	0.786	0.057	85.50		
4	0.721	0.065	97.50		
5	0.657	0.064	96.00		
6	0.597	0.060	90.00		
7	0.537	0.060	90.00	1	695
8	0.462	0.075	112.50		
9	0.382	0.080	120.00		
10	0.321	0.061	91.50		
11	0.269	0.051	77.10		
12	1.000	0.060	90.00		
13	0.930	0.070	105.00		
14	0.859	0.071	106.50	2	703
15	0.794	0.065	97.50		
16	0.704	0.090	135.00		
17	0.648	0.056	84.00		
18	0.586	0.062	93.60		
19	0.525	0.061	91.50		
20	0.465	0.060	90.00		
21	0.405	0.060	90.00	3	682
22	0.332	0.073	109.50		
23	0.261	0.071	106.50		
24	1.000	0.076	114.00		
25	0.933	0.067	100.50		
26	0.848	0.085	127.50		
27	0.764	0.084	126.00		
28	0.693	0.071	106.05	4	790

8.8.3. Acondicionamiento de Lemna para alimentación animal

La *Lemna* cosechada se sometió a un proceso de secado con el fin de concentrar los nutrientes, reduciendo la cantidad de agua de la biomasa original. El secado se realizó en secadores solares pasivos, con extracción forzada de aire

con ventiladores movidos por paneles solares. La cosecha se hizo al final del ensayo (28 días) para análisis de laboratorio.

8.9. Análisis bromatológico de biomasa del sistema de biofiltro

Al finiquitar la investigación, se realizó el análisis proximal de la *Lemna* deshidratada en un laboratorio certificado. Se determinó su contenido de proteína y carbohidratos, los más importantes componentes de la dieta de animales de granja. El procedimiento se basó en la utilización de una pequeña cantidad de germoplasma, que se multiplicó logarítmicamente, por lo que no se realizó un análisis inicial. Por otra parte, *Lemna minor* presenta un tiempo de vida de 8,98 días hasta la senescencia, en donde las hojas se vuelven blancas y se hunden en el agua, estableciéndose que hubieron 4 generaciones de plantas durante el desarrollo del estudio. Por ello, se entiende que el desarrollo de la planta dependió totalmente de los nutrientes provistos por el efluente gris, y que se tradujeron en la producción de proteínas y carbohidratos durante el estudio.

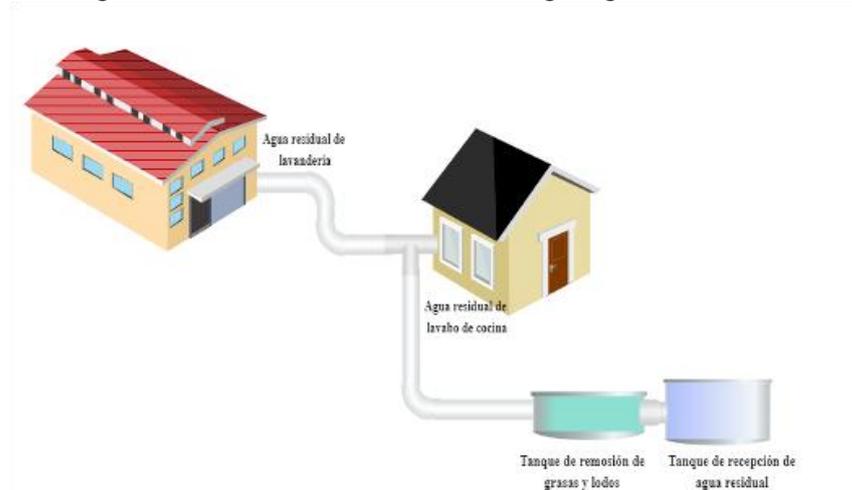
9. RESULTADOS Y DISCUSION

9.1. Determinación del volumen de producción y proceso de aguas grises en un entorno doméstico rural.

El entorno domiciliario rural en el que se realizó el estudio de producción de aguas grises y recuperación de nutrientes, está conformado por 8 personas. El sistema de separación incluye la recogida de aguas grises de lavado y baño, así como del lavadero. Las aguas grises de la ducha no se integraron al sistema por falta de conexiones necesarias, además, de acuerdo a los autores Oteng-Peprah *et al.*, (2018) esta suele presentar virus patógenos, bacterias, helmintos y protozoos que protozoos y helmintos provenientes de los fluidos corporales.

A continuación, la presencia de grasas y aceites procedentes de la cocina, hizo visible el requerimiento de una trampa de grasas para eliminar estos compuestos. Según Arias & Guañuna, (2019), la acumulación de grasa y agua estancada reduce la eficiencia en la trampa de grasa aguas abajo, dificultando el mantenimiento y operación del sistema implementado. Para determinar la producción de agua gris en la unidad de estudio, se efectuó un sistema de conducción (17 metros), en tubería de PVC de 50 mm, que recoge el agua de los puntos de producción (lavandería y lavabos de la cocina) y los transporta

Figura 3. Diagrama del sistema de recolección de aguas grises domiciliarias

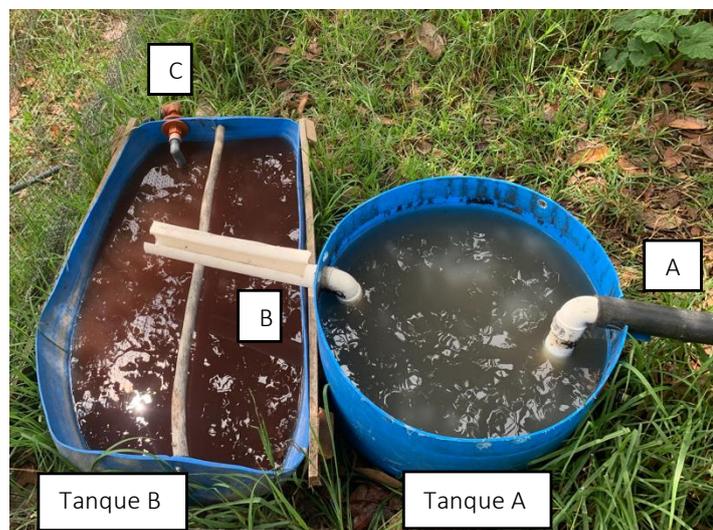


al sistema de remoción de grasas y lodos (Figura 3).

Nota: Elaborado en EDrawMax

El procedimiento de la producción de agua gris, consiste en la conducción de los efluentes residuales domésticos hacia un dispositivo de remoción de grasas, que consta de dos tanques de 100 litros cada uno. El tanque A recibe el agua gris cruda, a través de la tubería (A) de recolección e ingreso del agua residual. Las grasas y los lodos del agua residual cruda son retenidos en el tanque A, y el agua sin grasa es transportada al tanque B por medio de la tubería B. El agua sin grasa y lodos es recolectada en el tanque B del que es trasladada a las bandejas de producción de *Lemna minor*, por medio de la tubería C (Figura 4).

Figura 4. Distribución de los tanques trampa de grasas y lodos

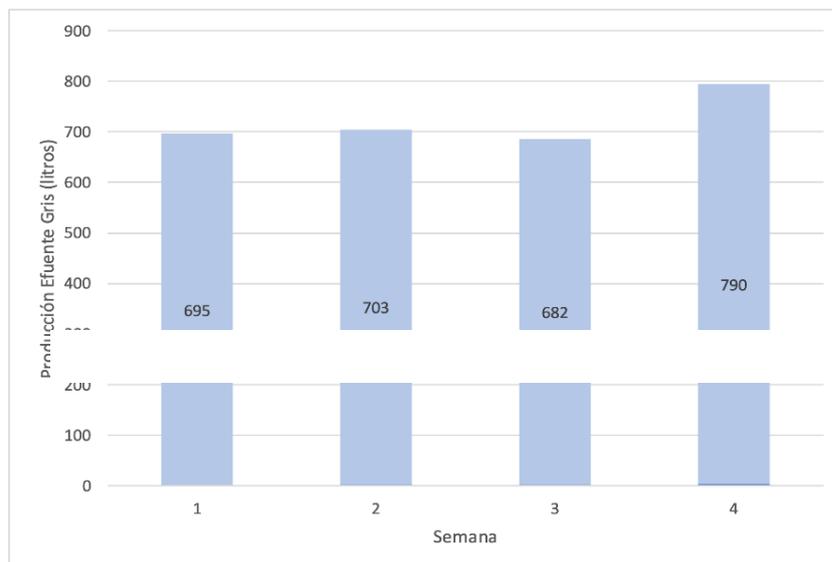


Análisis de la figura cuatro Entonces, con lo antes descrito se llevó a cabo la determinación de la producción de agua gris domiciliaria, mediante el aforo se estableció un volumen total en cuatro semanas de 2.87 m^3 para un caudal medio diario de 0.0011 l/s . La figura 5 muestra la producción de aguas grises domiciliarias en el entorno doméstico en estudio, durante la fase de recuperación de nutrientes. Además, durante el estudio se cuantificó el consumo de agua para saneamiento, limpieza y cocina de los residentes de la residencia. El récord de 695 litros se logró en la primera semana, provenientes de lavado de ropa, lavado de manos y uso en la cocina. El consumo de agua alcanzó un máximo de 790 litros en la semana de revisión anterior, coincidiendo con la mayor parte del agua utilizada para limpiar los inodoros. Cabe anotar que el consumo de agua es limitado si se compara con el promedio de uso en la comunidad, ya que no se cuenta con un inodoro hidráulico, mismo que ha sido reemplazado por un baño compostador, que no usa agua. Singaicho & Vergara (2021),

indican que el agua utilizada recuperable es fundamental para un entorno doméstico rural, debido a la carencia de una conexión a la red sanitaria. Por otra parte, Al-Balawenah *et al.*, (2012, p.), expresan que la recuperación de nutrientes aporta beneficios adicionales, como el ahorro de costos tanto para el consumidor como para las autoridades estatales de agua, a través de flujos reducidos de aguas residuales y suministros de agua potable .

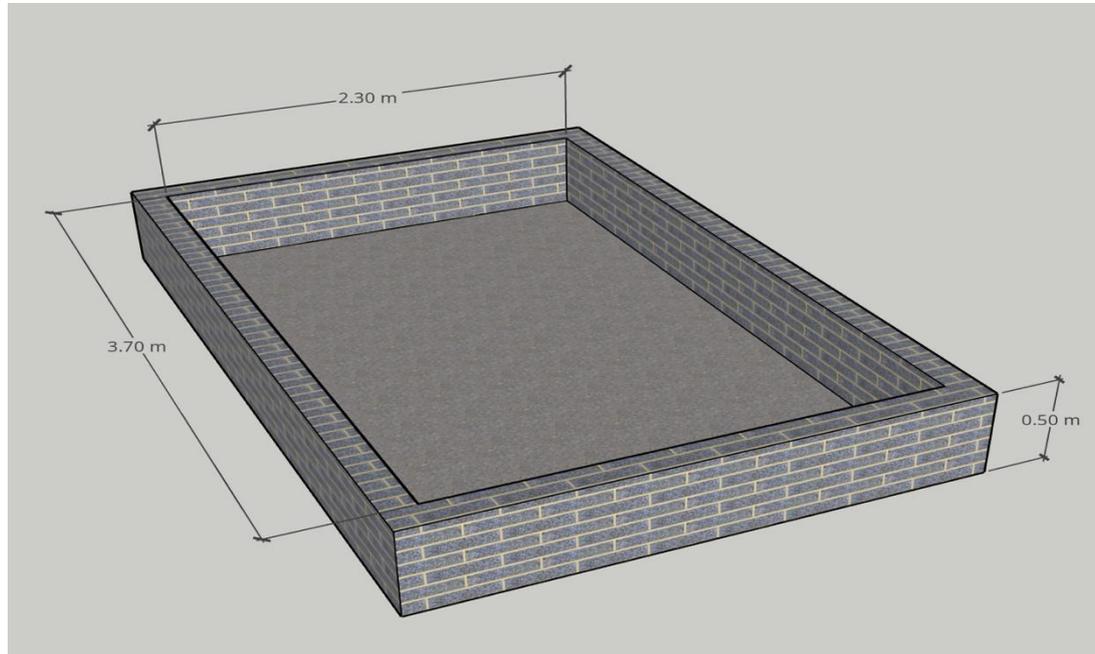
9.2. Ejecución del sistema de fitoremediación de aguas grises para la recuperación

Figura 5. Producción de Agua Gris en el Entorno Domiciliario de nutrientes.



9.2.1. Acondicionamiento del biofiltro

Figura 6. Diagrama del estanque para la extracción de nutrientes con *Lemna minor*



En la propiedad donde se realizó el estudio, se disponen de estanques de mampostería de bloque, originalmente usados para lombricultura. Este estanque tiene una profundidad de 0.5 m, 3.7 m de largo y 2.3 m de ancho, resultando un área de 8.51 m². Se determinó que el volumen adecuado para el cultivo de *Lemna minor* es de 3.4 m³. Se llenó con el agua tratada hasta la profundidad de 0.4 m. Para el presente estudio se acondicionó un solo estanque, considerando que fue suficiente para procesar el agua producida por el domicilio (Figura 6).

De lo antes expuesto, Qadiri *et al.*, (2021) expresa que para establecer lenteja de agua común en un cuerpo de agua, la profundidad del agua debe ser de 20-50 cm con el fin de reducir fuentes potenciales de estrés. El agua eutrofizada debe ser añadida al estanque, con el fin de proveer los nutrientes que impulsarán el desarrollo y crecimiento de la planta.

Asimismo, hay que mencionar que el estanque construido con bloque de cemento, no garantiza la impermeabilidad completa, por lo que se lo recubrió con una lámina plástica calibre 8, cuidando que no haya fugas de agua. Adicionalmente, y con el fin de reducir la incidencia de radiación solar se cubrió

el estanque con sarán blanco, que permitió el paso de la luz necesaria para fotosíntesis. Está cubierta también protegió el cultivo de *Lemna minor* de la acción de las aves silvestres, y el viento. Estas medidas fueron necesarias, considerando que el sitio del estudio está ubicado a 3000 msnm, justo dentro del límite climático para la especie.

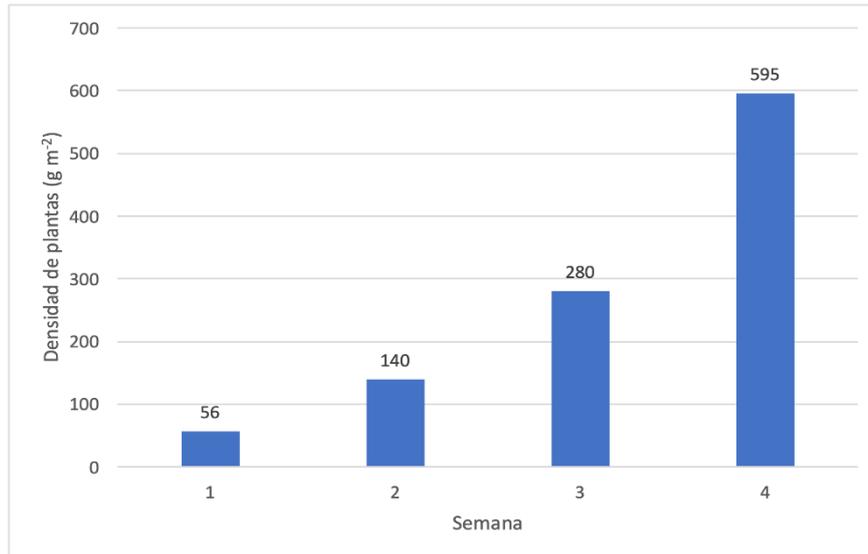
9.2.2. Introducción de la especie fitorremediadora *Lemna minor*

Se desarrolló un proceso de adaptación de especímenes de *Lemna minor*, antes de ser trasladados al estanque de recuperación de nutrientes. Los estanques de adaptación se alimentan tanto con aguas grises en agua tratada y aireada, como con compost de un sistema de producción avícola sostenible que existe en el entorno doméstico. Se distinguieron cuencas ganaderas y productivas. Los estanques de reproducción están contruidos a partir de tanques de PVC de 200 litros, los que se utilizan para reproducir el germoplasma introducido y para adaptarlo a las condiciones de calidad de agua, carga de nutrientes y temperatura del agua. El estanque de producción es de una capacidad de 10 m³, con un espejo de agua de 12 m². Este paso es importante, por cuanto se necesita de un período de adaptación de la *Lemna* a un nuevo medio de desarrollo. Uno de los efectos de la falta de adaptación es la transformación de las frondas verdes en frondas blancas, que demoran mucho tiempo en volver a germinar.

Por consiguiente, una vez que las plantas de *Lemna* han alcanzado su desarrollo y densidad de plantas adecuada, fueron transferidas al estanque experimental, donde ya se había colocado el volumen de agua a ser tratado. Las plantas fueron sembradas en el estanque del estudio, a una densidad de 0.1 kg de lemna fresca por m², totalizando 0.815 kg de germoplasma para todo el estanque. En el anexo 4, se observa el proceso de siembra y el desarrollo de la *lemna* en el estanque con agua gris tratada.

9.2.3. Desarrollo vegetativo de *Lemna minor*

Figura 7. Densidad de *Lemna minor* en el estanque de recuperación de nutrientes



La planta fue sembrada a una densidad inicial de 100 g m^{-2} , totalizando 851 g de germoplasma. Luego de 4 semanas de desarrollo vegetativo, la planta alcanzó una densidad final de 595 g m^{-2} . Según Iqbal *et al.*, (2019), El crecimiento de las especies funciona de manera logarítmica, considerando que las especies tienden a duplicar su biomasa cada 36 a 8 horas. Este comportamiento se observó hasta que la densidad de plantas alcanzó una densidad crítica, a partir de la cual se detuvo el crecimiento de Lemna, necesaria para cosechar hasta 50 litros de material vegetal. En plantaciones maduras, esto puede ocurrir semanalmente, después de que los árboles alcancen el 100 % de cobertura del estanque. (Driever *et al.*, 2005). La figura 7 muestra la evolución de la densidad por metro cuadrado. La cosecha de *Lemna* se realizó en la semana 4, con el fin de acondicionarla para su análisis bromatológico. El crecimiento exponencial fue evidente a partir de la segunda semana, considerando que se requiere de una alta densidad para que dicho desarrollo sea observable.

En el presente estudio se encontró un comportamiento de la lenteja de agua similar a la reportada por la literatura, siendo evidente la rápida reproducción de la planta y su desarrollo. Una vez que la *Lemna* fue sembrada, se notó un descenso en la densidad de plantas, llegando a 56 g m^{-2} evidentemente menor a la densidad de siembra. Esto se notó con el blanqueamiento de las hojas y la muerte de una gran parte de las plantas. Esto puede haber sido provocado por stress debido a las condiciones de alta disponibilidad de nutrientes y el clima. A partir de la segunda semana se encontró una buena reproducción y desarrollo de la cobertura, una vez que

la planta se ha adaptado exitosamente en el medio. En la tercera y cuarta semana el desarrollo de la Lemna es típico de lo reportado para la especie. Esto muestra la alta capacidad de esta especie para adaptarse tanto a climas diversos como a condiciones de alta eutrofización de las aguas residuales, por lo que se determinó una planta muy adecuada tanto para limpieza del agua gris como para la producción sostenible de forraje para uso en el entorno doméstico rural. Esto es corroborado por Cenith, (2020) al indicar que el bajo crecimiento registrado durante las primeras 3 semanas se atribuyen a que la planta se hallaba en fase de adaptación al nuevo medio, lo que provoca stress afectando la fisiología de la planta.

9.3. Establecimiento de la capacidad de absorción de nutrientes de la especie *Lemna minor*.

9.3.1. Contenido de nutrientes en al agua gris domiciliaria

De forma preliminar se determinó el contenido de N, P, K y Ca en el agua gris residual, que posteriormente es sometida a un proceso de extracción de nutrientes. Se realizó el muestreo de acuerdo con los protocolos otorgados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). De forma preliminar se acaba el contenido de N, P, K y Ca en el agua gris residual, que posteriormente es sometido a un proceso de extracción de nutrientes.

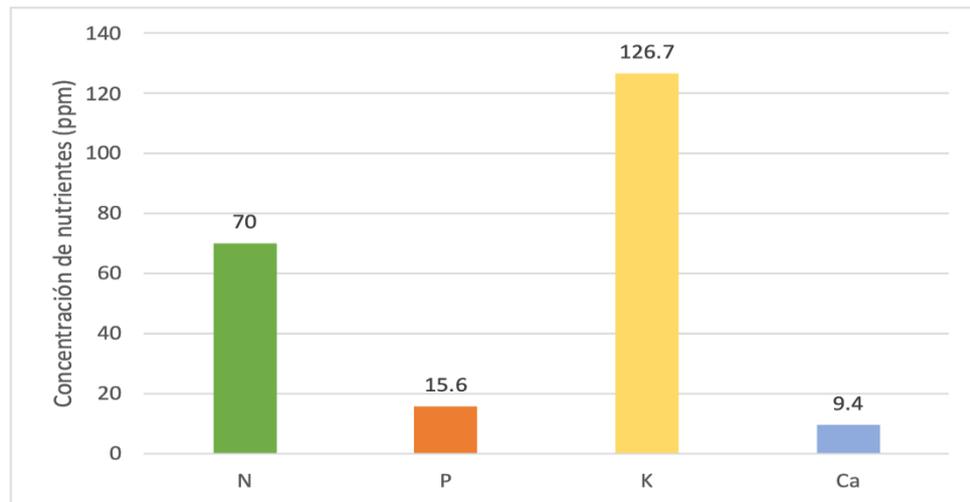
Los datos obtenidos se utilizaron para determinar la disponibilidad de N y P en el agua, el que sustentará el desarrollo de la lenteja de agua. Se realizaron los análisis de N, P y Ca, considerando que estos son los elementos críticos para la formación de proteínas y carbohidratos de alta calidad, estos son producidos por la fotosíntesis y la absorción de nutrientes del agua gris domiciliaria eutrofizada. La figura 8 muestra la concentración inicial de nutrientes del agua gris tratada, encontrándose una disponibilidad de 70 ppm de N, 15,6 ppm de P, 126,7 ppm de K y 9,4 ppm de Ca. En el caso del Ecuador, el Ministerio del Ambiente permite liberar en cuerpos de agua, agua residual con hasta 15 ppm de P. Mientras que, para N total, la legislación ecuatoriana permite 60 ppm (Ministerio de Ambiente, 2015).

En definitiva, se determinó que los niveles de eutrofización de los efluentes domiciliarios, se hallan dentro o cercanos a los rangos permisibles, lo que muestra un bajo nivel de contaminación del agua residual. En entornos urbanos, los niveles de eutrofización son mucho más altos, considerando que incluyen aguas

negras, por lo que su impacto ambiental es mucho mayor. La legislación ecuatoriana no considera los elementos K y Ca como nutrientes eutrofizantes, por lo que no presentan un límite para los mismos.

9.3.2. Acondicionamiento de *Lemna minor* para análisis proximal

Figura 8. Concentración de nutrientes en el agua gris domiciliaria



La macrófita se cosechó luego de las 4 semanas de crecimiento en el estanque de producción. Una vez que la cobertura de la *Lemna* alcanzó el 100% de la superficie del espejo de agua en el estanque de producción. Es recomendable realizar la cosecha hasta remover el 50% del material vegetal del estanque, con el fin de permitir la regeneración de la misma y hacer continuo el proceso de producción. La *Lemna* cosechada se sometió a un proceso de secado con el fin de concentrar los nutrientes, reduciendo la cantidad de agua de la biomasa original. El secado se realizó en secadores solares pasivos, con extracción forzada de aire con ventiladores movidos por paneles solares (Anexo 4). Con fines de muestreo para el análisis de laboratorio, se cosechó la producción de la mitad del área del estanque de producción, es decir 4.25 m², la cual registró 595 g de *Lemna* fresca, peso determinado luego de escurrir el agua adherida a la planta por 30 minutos. Después de 72 horas en el secador solar, el peso final fue de 152 g como se indica en la Tabla 4. La *Lemna* seca fue reducida a hojuela y envasada en un recipiente ziploc hermético para ser enviada al Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos del INIAP.

Tabla 4*Peso fresco y seco de Lemna cosechada al final del estudio*

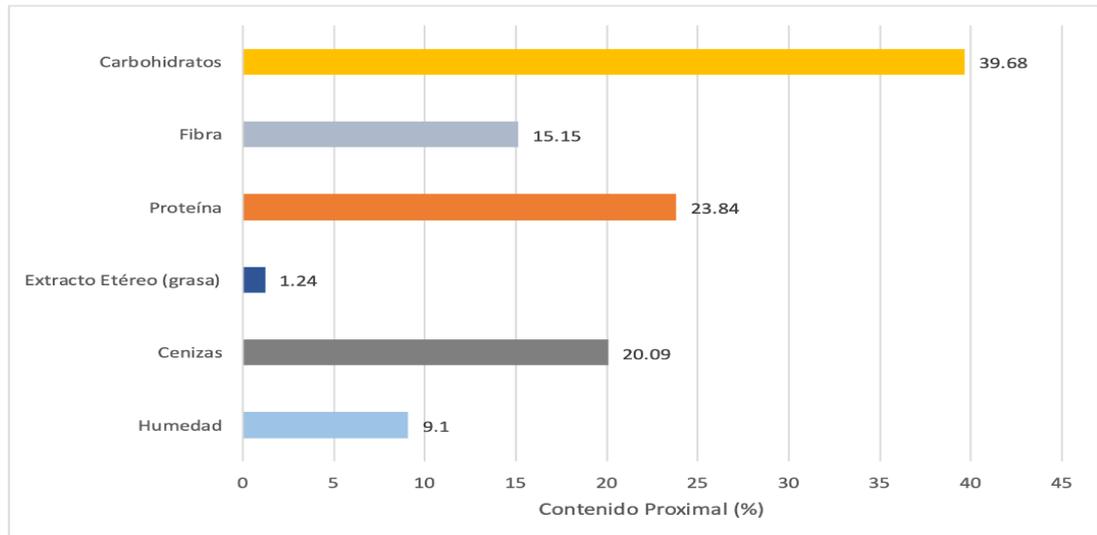
Peso Lemna fresca cosechada (g)	2532
Peso seco obtenido (g)	152

El alto contenido de humedad de *Lemna minor* (94%) hace que la alimentación directa de los animales con material fresco, no sea adecuado en términos de la relación aporte de nutriente-peso de biomasa. Sin embargo, según González *et al.*, (2013) el manejo y dosificación de *Lemna* deshidratada permite el almacenamiento y su incorporación en el balanceado. También es posible la peletización del alimento con *Lemna minor*, en el proceso de producción de peces y aves.

De igual manera, el proceso de secado solar logró una humedad de 9.10% en el material deshidratado, por debajo de los valores de humedad para granos secos propuestos por los estándares de la FAO para almacenamiento post-cosecha, que están entre el 12 y 14% (De Lucia & Assennato, 1993).

9.3.3. Análisis bromatológico de biomasa del sistema de biofiltro

Figura 9. Análisis proximal de *Lemna minor* deshidratada



Se determinó el contenido de proteína y carbohidratos, los más importantes componentes de la dieta de animales de granja y peces.

Facsímil del análisis bromatológico certificado, el cual muestra un contenido de nutrientes de alto valor biológico. La figura 9 muestra el resumen del análisis bromatológico, observándose altos contenidos de carbohidratos solubles (39.68%), de fácil asimilación (Extracto libre de Nitrógeno). El contenido de proteína en base seca llega a 23.84%, mostrando un alto valor biológico y el potencial de reemplazar fuentes de proteína convencionales como la harina de pescado y soya. El contenido de proteína encontrado en el presente estudio es menor a lo reportado por la literatura especializada, la cual indica valores de hasta $36.07\% \pm 0.18$ en *Lemna minor* cultivada en materia orgánica y fertilizante sintético (Chakrabarti *et al.*, 2018).

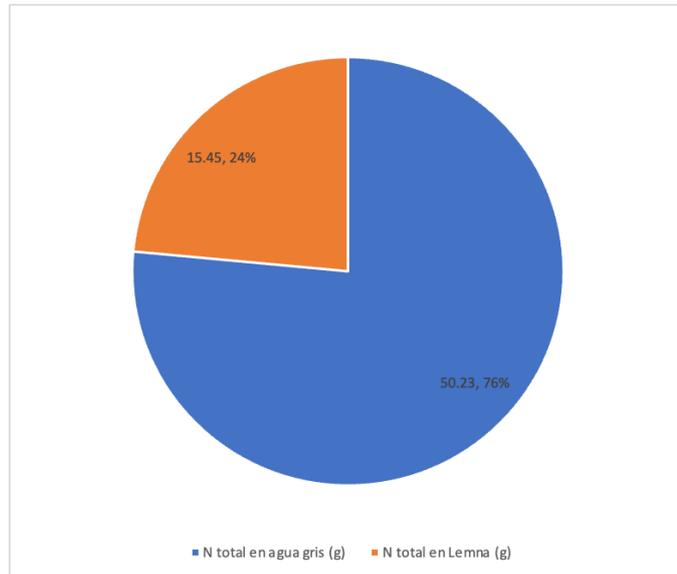
El estado nutricional del cuerpo de agua influye en el contenido de proteína cruda de la lenteja de agua, considerándose el efluente del presente estudio con un nivel bajo de eutrofización. El contenido de N del efluente domiciliario llegó a 70 ppm, mostrando un nivel medio de eutrofización, que aporta con suficiente N para el desarrollo óptimo de la macrófita en estudio. También el contenido de P del efluente es relativamente bajo en el agua gris domiciliaria, aunque los niveles encontrados (156 ppm) son suficientes para sostener un desarrollo adecuado. Se ha encontrado que la adición de materia orgánica mejora la producción de proteína y carbohidratos de alta calidad biológica en *Lemna* cultivada. El

contenido medio de nutrientes en este estudio, comparado con el reportado por la literatura especializada, probablemente se debe a que la zona de cultivo está ubicada a 3000 msnm, y con temperaturas medias de 12°C (-1° a 25°C), por lo que su desarrollo es limitado.

A pesar del contenido medio alto de proteína en la Lemna cultivada, se ha reportado la presencia de proteínas de alta calidad. El perfil de aminoácidos esenciales de la lenteja de agua se ha mostrado mejor en contraste con la mayoría de las proteínas vegetales y se parece más a la proteína animal. La proteína de esta especie analizada es rica en ciertos aminoácidos que a menudo son bajos en proteínas vegetales. El valor nutricional es comparable al de la alfalfa en términos de dos aminoácidos esenciales, lisina y arginina. Estos son necesarios en los alimentos para animales. En las lentejas de agua se encuentran altas cantidades de leucina, treonina, valina, isoleucina y fenilalanina y menos cantidad de metionina y tirosina (Garcia *et al.*, 2021).

La proporción de N absorbido por Lemna minor del agua gris tratada se calculó con la asunción de que la proteína contiene el 16% de N. Así, la cantidad de N recuperado de los efluentes tratados se suspenderá considerando un contenido de 50.23 g de N en un volumen de agua de 718,5 litros. No se agregaron más nutrientes durante la investigación, por lo que se supone que no hubo variaciones en el contenido de N del agua del estanque de producción durante el ensayo. Asimismo, la superficie de producción del estanque fue de 8,51 m² y la producción final fue de 595 g de Lemna fresca por metro cuadrado, totalizando 5,064 kg. El contenido de humedad de la lemna fresca es de 92%, por lo que en realidad se cosecharon 405,1 g de materia seca de Lemna minor en total. Retomando el valor de 16% de N en la proteína cosechada, se puede afirmar que la cantidad de N inorgánico recuperado fue de 15.45 g de N (Figura 10).

Figura 10. Proporción de extracción de N inorgánico usando *Lemna minor*



El tratamiento de aguas residuales utilizando plantas acuáticas como *Lemna minor*, ha llegado a una remoción del nitrógeno total Kjeldahl y el fósforo total de hasta el 86.5 y 67 por ciento, respectivamente, durante un periodo de 10 días, bajo condiciones climáticas y nutricionales óptimas. Con base en resultados de laboratorio, se encontró que *Lemna* es más digerible para el ganado que el pasto común. De acuerdo a Kalengo *et al.*, (2021), estas características, combinadas con una tasa de crecimiento rápida, podrían hacer que la lenteja de agua sea deseable para su uso en el tratamiento terciario de aguas residuales y recuperación de nutrientes.

10. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

10.1. Impactos técnicos

La recuperación de nutrientes N y P de agua gris domiciliarias se puede adecuar fácilmente en domicilios rurales, ya que son sencillas de instalar y operar. La comunidad local puede capacitarse para implementarlas y los materiales de construcción están disponibles y pueden ser reciclados. La recolección de agua gris es conveniente porque permite disponer de agua con cargas eutrofizantes muy bajas que pueden ser reutilizadas con fines agrícolas y para forestación.

Una limitante de la aplicación de esta tecnología es la percepción de la comunidad que está acostumbrada a liberar el agua servida y olvidarse de las implicaciones sociales y ambientales.

10.2. Impactos sociales

La reducción de la carga de nutrientes del agua gris promueve la disminución de la huella hídrica gris y aporta en la resiliencia socio-ecológica de las familias y de la comunidad. Las familias beneficiarias del estudio se han empoderado de las acciones individuales en el grupo familiar. En la comunidad, las familias encuentran la posibilidad de incluir en proyectos de reforestación, que aportarían a la disponibilidad de servicios ecosistémicos culturales.

10.3. Impactos ambientales

Al disminuir la carga eutrofizante de nutrientes en las aguas grises domiciliarias se reduce la huella de aguas grises, se optimiza el agua potable y se reduce la cantidad de efluentes contaminantes liberados al ambiente. La huella hídrica gris local cumpliría con los estándares específicos de calidad del agua residual.

10.4. Impactos económicos

Al tratarse de un sistema natural de tratamiento de agua gris domiciliaria basado en biodiversidad, pone al alcance de las áreas rurales, soluciones basadas en la naturaleza, de muy bajo costo y alto retorno económico.

Producir *Lemna minor* para forraje como fuente de aminoácido esenciales, minerales y vitaminas para animales domésticos, reduce la necesidad de balanceados comerciales

para alimentar especies domésticas, produciendo un retorno económico que haría sostenibles las actividades de producción.

11. Presupuesto

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
RECURSOS TECNICOS			
Internet	180 h	\$0,60	\$108
Cámara (uso)	1	\$25,00	\$25,00
Flash memori	1	\$15,00	\$15,00
RECURSO DECONSTRUCCIÓN			
Tanques de PDV	2	\$35,00	\$70,00
Cemento	1	\$7,50	\$7,50
Bloques	35	\$0,22	\$7,50
Plástico	1	\$12,00	\$12,00
RECURSOS DE OFICINA			
Materiales de oficina	1	8	8
OTROS PAGOS			
Transporte	4	\$25,00	\$100
Alimentación	4	\$20,00	\$80,00
Impresiones	400	\$0,10	\$40,00
Anillados	1	\$10,00	\$10,00
		Subtotal	\$483
		12% Imprevistos	\$57,96
Fuente: Elaboración propia		Total	\$540,96

12. CONCLUSIONES

La producción de aguas grises en el entorno familiar rural resultó ser menor que los estándares de legislación nacional. Con un volumen producido total durante cuatro semanas de 2.87 m³ para un caudal medio diario de 0.0011 l/s, se demostró un eficiente uso del agua con la aplicación de la gestión sostenible. La reducción de efluentes domiciliarios favorece a los ecosistemas acuáticos de la zona, que reciben una menor cantidad de aguas contaminantes.

El sistema de recuperación de nutrientes se dimensionó para la producción domiciliar de agua gris a escala rural en Latacunga. El desarrollo de la *Lemna minor* mostró una tendencia logarítmica, ya que presentó una densidad de siembra inicial de 100 g m⁻², y en 4 semanas llegó a una densidad de 595 g m⁻². El desarrollo de la macrófita indica que es una buena alternativa para generar biomasa aprovechable en poco tiempo.

El análisis proximal de *Lemna minor* deshidratada determinó altos contenidos de carbohidratos solubles (39.68%), de fácil asimilación (Extracto libre de Nitrógeno). El contenido de proteína en base seca llega a 23.84%, mostrando un alto valor biológico y el potencial de reemplazar fuentes de proteína convencionales como la harina de pescado y soya en la alimentación de animales domésticos. El contenido de proteína encontrado es similar en valor biológico al de la alfalfa y se puede evaluar su uso en actividades de producción sostenibles.

13. RECOMENDACIONES

Socializar el modelo de recuperación de nutrientes de las aguas servidas a comunidades rurales del cantón y la provincia, con el fin de reducir la huella hídrica gris.

Establecer la productividad de *Lemna minor* en diversos pisos altitudinales y condiciones socio-ecológicas rurales de la sierra ecuatoriana, mediante la implementación de una economía circular con el reciclaje de agua y nutrientes, además, la reducción del impacto ambiental por la liberación de efluentes al ambiente.

Evaluar la sostenibilidad ambiental de sistemas agroalimentarios, con la inclusión de economía de los ecosistemas y la biodiversidad en un esquema de modelos de producción y servicios basados en la naturaleza.

14. REFERENCIAS

- Al-Balawenah, A., Al-Karadsheh, E., & Qadir, M. (2012). Community-based use of grey-water in home farming. *International Conference on Food Security and Climate Change in the Dry Areas*, 299–303.
- Arias, D., & Guañuna, J. (2019). *Implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises mediante biojardineras en una reutilización* [Tecnólogo, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20539/1/CD%2010032.pdf>
- Bain, R., Johnston, R., Mitis, F., Chatterley, C., & Slaymaker, T. (2018). Establishing Sustainable Development Goal Baselines for Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene Services. *Water*, 10, 1711. <https://doi.org/10.3390/w10121711>
- Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2019). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711, 134731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>
- 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>
- Brink, T. L. (2017). *Research Methods for Psychology*.
- Cenith, K. (2020). *Lenteja de agua (Lemna minor); una promisoriosa planta con potencial en el cuidado ambiental y alimentario para seres humanos y animales* [Licenciatura, UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA]. <http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/LENTEJA%20DE%20AGUA%20%28Lemna%20minor%29%3B%20UNA%20PROMIS>

ORIA%20PLANTA%20CON%20POTENCIAL%20EN%20EL%20CUIDADO%20A
 AMBIENTAL%20Y%20ALIMENTARIO%20PARA%20SERES%20HUMANOS%20
 Y%20ANIMALES.pdf

- Chakrabarti, R., Clark, W. D., Sharma, J. G., Goswami, R. K., Shrivastav, A. K., & Tocher, D. R. (2018). Mass Production of Lemna minor and Its Amino Acid and Fatty Acid Profiles. *Frontiers in Chemistry*, 6, 479–479. PubMed.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00479>
- Coronado, M. (2021). *Tratamiento de aguas grises por oxidación Universidad de las Fuerzas Armadas Quito-Ecuador*.
- De Lucia, M., & Assennato, D. (1993). *La ingeniería en el desarrollo—Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. FAO. <https://www.fao.org/3/x5041s/x5041S00.htm#Contents>
- Diatta, J., Waraczewska, Z., Grzebisz, W., Niewiadomska, A., & Tatuśko-Krygier, N. (2020). Eutrophication Induction Via N/P and P/N Ratios Under Controlled Conditions—Effects of Temperature and Water Sources. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231.
<https://doi.org/10.1007/s11270-020-04480-7>
- Driever, S., Nes, E., & Roijackers, R. (2005). Growth limitation of Lemna minor due to high plant density. *Aquatic Botany*, 81, 245–251.
<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.12.002>
- European Commission. (2009). *Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/ec)* (Technical Report Núm. 039; p. 19).
https://circabc.europa.eu/sd/d/75bf8789-716e-4d8f-8a9f-cb58bd009b38/PolicySummaryGuidDocNo23_Final2009.pdf
- Frumin, G., & Gildeeva, I. (2015). Eutrophication of water bodies—A global environmental problem. *Russian Journal of General Chemistry*, 84, 2483–2488.
<https://doi.org/10.1134/S1070363214130015>

- GADM Latacunga. (2016). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDyOT) del cantón Latacunga 2016-2028*.
http://latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf
- García, K., Rodríguez Zuñiga, D. P., Arteaga, A., & Arroyave-Rojas, J. (2021). *Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia* (pp. 254–269).
- González, R., Fonseca, E., Rico, R., Romero, O., & Ponce, J. (2013). Utilización de Lemna trinervis en la alimentación de tilapia aurea. *Revista Granma Ciencia*, 17(2), 9.
<http://dspace.uan.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/832/1/Utilización%20de%20Lemna%20trinervis%20en%20la%20alimentación%20de%20la%20tilapia%20aurea.pdf>
- Gualán, D. (2016). *EVALUACIÓN DEL PASTO ALEMÁN (Echinochloa polystachya) Y LENTEJA DE AGUA (Lemna minor) COMO ESPECIES FITORREMIADORAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHICAÑA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE* [Grado, Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14140/1/Tesis%20Lista%20Segundo.pdf>
- Iqbal, J., Javed, A., & Baig, M. (2019). Growth and nutrient removal efficiency of duckweed (Lemna minor) from synthetic and dumpsite leachate under artificial and natural conditions. *PLOS ONE*, 14, e0221755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221755>
- Kalengo, G. L., Ge, H., Liu, N., & Wang, Z. (2021). The Efficiency of Aquatic Macrophytes on the Nitrogen and Phosphorous Uptake from Pond Effluents in Different Seasons. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 75–85.
<https://doi.org/10.12911/22998993/140308>

- Kasak, K., Karabelnik, K., Kõiv-Vainik, M., Jenssen, P., & Mander, Ü. (2011). Phosphorus removal from greywater in an experimental hybrid compact filter system. *Water Resources Management, 145*. <https://doi.org/10.2495/WRM110581>
- Khajvand, M., Khosravanipour, A., Drogui, P., Tyagi, R., & Brien, E. (2022). Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. *Environmental Science and Pollution Research, 1–38*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16480-z>
- Khanam, K., & Patidar, S. K. (2021). Greywater characteristics in developed and developing countries. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.022>
- Marjoram, C. (2014). *Graywater research findings at the residential level* [Master, Colorado State University]. https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/82498/MARJORAM_colostate_0053N_12170.pdf?sequence=1
- Martínez-Yáñez, R., Albertos-Alpuche, P. J., Guzmán-Mendoza, R., Robaina-Robaina, L. E., Alvarez-González, A., & Díaz-Plascencia, D. (2018). Production and chemical composition of hydrophytes cultivated in aquaponics. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5*, 247–257. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282018000200247&nrm=iso
- Masi, F., Rizzo, A., & Regelsberger, M. (2017). The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm. *Journal of Environmental Management, 216*, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.086>
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Anexo 1 del Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de*

- efluentes al recurso agua*. Registro Oficial Ecuador.
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Niño, E., & Martínez, N. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá* [Grado, Pontificia Universidad Javeriana].
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11139/NinoRodriguezElkinDario2013.pdf?sequence=3>
- Obinna, O., Eyo, J., & Ibiam, A. (2021). Growth and Nutritional profile of Duckweed (*Lemna minor*) cultured with different organic manure. *IARJSET*, 8.
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2021.81202>
- Osorio-Rivera, M. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Pol. Con.*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- 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)
- Qadiri, R. Z. Z., Gani, K., Zaid, A., Aalam, D., Kazmi, A., & Khalil, N. (2021). Comparative evaluation of the macrophytes in the constructed wetlands for the treatment of combined wastewater (greywater and septic tank effluent) in a sub-tropical region. *Environmental Challenges*, 5, 100265. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100265>
- Quiñonez, B. (2018). *Evaluación y Monitoreo del Uso de Lemna Minor y Eichornia Crassipes como Medida de Fitorremediación de Aguas Residuales en las Riveras del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas* [Investigación, PUCE].

<https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/1605/1/QUIÑÓNEZ%20MINA%20%20BRENDA%20ELAINE.pdf>

- Sánchez Ortiz, I. (2013). *Nitrógeno en aguas residuales: Orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. 15, 72–78.
- Singaucho, D., & Vergara, A. (2021). *Modelo De Cosecha De Agua Y Optimización De Su Uso Aplicado a Entornos Domiciliarios Rurales En La Parroquia Once De Noviembre, Periodo 2020 -2021* [Grado]. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Spychała, M., Nieć, J., Zawadzki, P., Matz, R., & Nguyen, H. (2019). *Removal of Volatile Solids from Greywater Using Sand Filters*. 9, 770.
- Srirangarayan, R., Ramesh, P. T., Ramasamy, M., Subramanian, A., & Karthikeyan, S. (2020). Characterization and treatment of grey water: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 34–40. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1a.8316>
- Turner, R., Will, G., Dawes, L., Gardner, E., & Lyons, D. (2013). Phosphorus as a limiting factor on sustainable greywater irrigation. *The Science of the total environment*, 456-457C, 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.061>
- van Puijenbroek, P. J. T. M., Beusen, A. H. W., & Bouwman, A. F. (2019). Global nitrogen and phosphorus in urban waste water based on the Shared Socio-economic pathways. *Journal of Environmental Management*, 231, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.048>
- Yang, J., Hu, S., Li, G., Khan, S., Kumar, S., Yao, L., Duan, P., & Hou, H. (2020). *Transformation Development in Duckweeds* (pp. 143–155). https://doi.org/10.1007/978-3-030-11045-1_15
- Zambrano, G., Laaz, E., Molina, J., & Santillán, G. (2021). Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias para el riego de áreas verdes: Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica*

Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166, 5, 93–102. <https://doi.org/10.47230/unesciencias.v4.n3.2020.281>

Al-Balawenah, A., Al-Karadsheh, E., & Qadir, M. (2012). Community-based use of grey-water in home farming. *International Conference on Food Security and Climate Change in the Dry Areas*, 299–303.

Arias, D., & Guañuna, J. (2019). *Implementación de un sistema de tratamiento de aguas grises mediante biojardineras en una reutilización* [Tecnólogo, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20539/1/CD%2010032.pdf>

Bain, R., Johnston, R., Mitis, F., Chatterley, C., & Slaymaker, T. (2018). Establishing Sustainable Development Goal Baselines for Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene Services. *Water*, 10, 1711. <https://doi.org/10.3390/w10121711>

Boano, F., Caruso, A., Costamagna, E., Ridolfi, L., Fiore, S., Demichelis, F., Galvão, A., Piscoiro, J., Rizzo, A., & Masi, F. (2019). A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits. *Science of The Total Environment*, 711, 134731.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134731>

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>

Brink, T. L. (2017). *Research Methods for Psychology*.

Cenith, K. (2020). *Lenteja de agua (Lemna minor); una promisoriosa planta con potencial en el cuidado ambiental y alimentario para seres humanos y animales* [Licenciatura, UNIVERSIDAD DEL SINÚ SECCIONAL CARTAGENA].

<http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/241/1/LENTEJA%20DE%20AGUA%20%28Lemna%20minor%29%3B%20UNA%20PROMISORIA%20PLANTA%20CON%20POTENCIAL%20EN%20EL%20CUIDADO%20A>

MBIENTAL%20Y%20ALIMENTARIO%20PARA%20SERES%20HUMANOS%20Y%20ANIMALES.pdf

- Chakrabarti, R., Clark, W. D., Sharma, J. G., Goswami, R. K., Shrivastav, A. K., & Tocher, D. R. (2018). Mass Production of *Lemna minor* and Its Amino Acid and Fatty Acid Profiles. *Frontiers in Chemistry*, *6*, 479–479. PubMed.
<https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00479>
- Coronado, M. (2021). *Tratamiento de aguas grises por oxidación Universidad de las Fuerzas Armadas Quito-Ecuador*.
- De Lucia, M., & Assennato, D. (1993). *La ingeniería en el desarrollo—Manejo y tratamiento de granos poscosecha*. FAO. <https://www.fao.org/3/x5041s/x5041S00.htm#Contents>
- Diatta, J., Waraczewska, Z., Grzebisz, W., Niewiadomska, A., & Tatuśko-Krygier, N. (2020). Eutrophication Induction Via N/P and P/N Ratios Under Controlled Conditions—Effects of Temperature and Water Sources. *Water, Air, & Soil Pollution*, *231*.
<https://doi.org/10.1007/s11270-020-04480-7>
- Driever, S., Nes, E., & Roijackers, R. (2005). Growth limitation of *Lemna minor* due to high plant density. *Aquatic Botany*, *81*, 245–251.
<https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2004.12.002>
- European Commission. (2009). *Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/ec)* (Technical Report Núm. 039; p. 19).
https://circabc.europa.eu/sd/d/75bf8789-716e-4d8f-8a9f-cb58bd009b38/PolicySummaryGuidDocNo23_Final2009.pdf
- Frumin, G., & Gildeeva, I. (2015). Eutrophication of water bodies—A global environmental problem. *Russian Journal of General Chemistry*, *84*, 2483–2488.
<https://doi.org/10.1134/S1070363214130015>

GADM Latacunga. (2016). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial (PDyOT) del cantón Latacunga 2016-2028*.

http://latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf

García, K., Rodríguez Zuñiga, D. P., Arteaga, A., & Arroyave-Rojas, J. (2021). *Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia* (pp. 254–269).

González, R., Fonseca, E., Rico, R., Romero, O., & Ponce, J. (2013). Utilización de Lemna trinervis en la alimentación de tilapia aurea. *Revista Granma Ciencia*, 17(2), 9.

<http://dspace.uan.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/832/1/Utilización%20de%20Lemna%20trinervis%20en%20la%20alimentación%20de%20la%20tilapia%20aurea.pdf>

Gualán, D. (2016). *EVALUACIÓN DEL PASTO ALEMÁN (Echinochloa polystachya) Y LENTEJA DE AGUA (Lemna minor) COMO ESPECIES FITORREMIEDIADORAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHICAÑA, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE* [Grado, Universidad Nacional de Loja].

<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14140/1/Tesis%20Lista%20Segundo.pdf>

Iqbal, J., Javed, A., & Baig, M. (2019). Growth and nutrient removal efficiency of duckweed (Lemna minor) from synthetic and dumpsite leachate under artificial and natural conditions. *PLOS ONE*, 14, e0221755. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221755>

Kalengo, G. L., Ge, H., Liu, N., & Wang, Z. (2021). The Efficiency of Aquatic Macrophytes on the Nitrogen and Phosphorous Uptake from Pond Effluents in Different Seasons. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 75–85.

<https://doi.org/10.12911/22998993/140308>

- Kasak, K., Karabelnik, K., Kõiv-Vainik, M., Jenssen, P., & Mander, Ü. (2011). Phosphorus removal from greywater in an experimental hybrid compact filter system. *Water Resources Management, 145*. <https://doi.org/10.2495/WRM110581>
- Khajvand, M., Khosravanipour, A., Drogui, P., Tyagi, R., & Brien, E. (2022). Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. *Environmental Science and Pollution Research, 1–38*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16480-z>
- Khanam, K., & Patidar, S. K. (2021). Greywater characteristics in developed and developing countries. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.022>
- Marjoram, C. (2014). *Graywater research findings at the residential level* [Master, Colorado State University]. https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/82498/MARJORAM_colostate_0053N_12170.pdf?sequence=1
- Martínez-Yáñez, R., Albertos-Alpuche, P. J., Guzmán-Mendoza, R., Robaina-Robaina, L. E., Alvarez-González, A., & Díaz-Plascencia, D. (2018). Production and chemical composition of hydrophytes cultivated in aquaponics. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 5*, 247–257. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282018000200247&nrm=iso
- Masi, F., Rizzo, A., & Regelsberger, M. (2017). The role of constructed wetlands in a new circular economy, resource oriented, and ecosystem services paradigm. *Journal of Environmental Management, 216*, 275–284. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.086>
- Ministerio de Ambiente. (2015). *Anexo 1 del Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de*

- efluentes al recurso agua*. Registro Oficial Ecuador.
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Niño, E., & Martínez, N. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá* [Grado, Pontificia Universidad Javeriana].
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/11139/NinoRodriguezElkinDario2013.pdf?sequence=3>
- Obinna, O., Eyo, J., & Ibiam, A. (2021). Growth and Nutritional profile of Duckweed (*Lemna minor*) cultured with different organic manure. *IARJSET*, 8.
<https://doi.org/10.17148/IARJSET.2021.81202>
- Osorio-Rivera, M. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Pol. Con.*, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- 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)
- Qadiri, R. Z. Z., Gani, K., Zaid, A., Aalam, D., Kazmi, A., & Khalil, N. (2021). Comparative evaluation of the macrophytes in the constructed wetlands for the treatment of combined wastewater (greywater and septic tank effluent) in a sub-tropical region. *Environmental Challenges*, 5, 100265. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100265>
- Quiñonez, B. (2018). *Evaluación y Monitoreo del Uso de Lemna Minor y Eichornia Crassipes como Medida de Fitorremediación de Aguas Residuales en las Riveras del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas* [Investigación, PUCE].

<https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/1605/1/QUIÑÓNEZ%20MINA%20%20BRENDA%20ELAINE.pdf>

- Sánchez Ortiz, I. (2013). *Nitrógeno en aguas residuales: Orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. 15, 72–78.
- Singaucho, D., & Vergara, A. (2021). *Modelo De Cosecha De Agua Y Optimización De Su Uso Aplicado a Entornos Domiciliarios Rurales En La Parroquia Once De Noviembre, Periodo 2020 -2021* [Grado]. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Spychała, M., Nieć, J., Zawadzki, P., Matz, R., & Nguyen, H. (2019). *Removal of Volatile Solids from Greywater Using Sand Filters*. 9, 770.
- Srirangarayan, R., Ramesh, P. T., Ramasamy, M., Subramanian, A., & Karthikeyan, S. (2020). Characterization and treatment of grey water: A review. *International Journal of Chemical Studies*, 8, 34–40. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i1a.8316>
- Turner, R., Will, G., Dawes, L., Gardner, E., & Lyons, D. (2013). Phosphorus as a limiting factor on sustainable greywater irrigation. *The Science of the total environment*, 456-457C, 287–298. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.061>
- van Puijenbroek, P. J. T. M., Beusen, A. H. W., & Bouwman, A. F. (2019). Global nitrogen and phosphorus in urban waste water based on the Shared Socio-economic pathways. *Journal of Environmental Management*, 231, 446–456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.048>
- Yang, J., Hu, S., Li, G., Khan, S., Kumar, S., Yao, L., Duan, P., & Hou, H. (2020). *Transformation Development in Duckweeds* (pp. 143–155). https://doi.org/10.1007/978-3-030-11045-1_15
- Zambrano, G., Laaz, E., Molina, J., & Santillán, G. (2021). Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias para el riego de áreas verdes: Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica*

Multidisciplinaria. ISSN 2602-8166, 5, 93–102. <https://doi.org/10.47230/unesciencias.v4.n3.2020.281>

15. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de agua gris tratada

MC-LASPA-2201-01



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: 22-0010

NOMBRE DEL CLIENTE: Caiza Lema Erika del Pilar
 PETICIONARIO: Caiza Lema Erika del Pilar
 EMPRESA/INSTITUCIÓN: Caiza Lema Erika del Pilar
 DIRECCIÓN: La Tebaida1, Salcedo

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-*	SO4	B*	Fe *	Zn +	Cu *	Mn *	P	IDENTIFICACIÓN
Unidad	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	%		mS/cm			(mg/l)										
22-0064	9,4	3,1	99,8	126,7	0,007	8,15	0,18						65,7						15,6	Muestra 1

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente
 * Ensayos no solicitados por el cliente



LABORATORISTA



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 2. Análisis proximal de Lemna minor deshidratada

MC-LSAIA-2201-06

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANÁLISIS E INVESTIGACIÓN EN ALIMENTOS <small>Panamericana Sur Km. 1. CutuglaguaTifs. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340</small>	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 22-023

****NOMBRE PETICIONARIO:** Srta.Erika del Pilar Caiza Lema
****DIRECCIÓN:** Salcedo
FECHA DE EMISIÓN: 11/02/2022
FECHA DE ANÁLISIS: Del 9 al 11 de febrero del 2022

****INSTITUCIÓN:** Particular
****ATENCIÓN:** Srta.Erika del Pilar Caiza Lema
FECHA DE RECEPCIÓN.: 09/02/2022
HORA DE RECEPCIÓN: 8H00
ANÁLISIS SOLICITADO Proximal

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS ^Ω	E.E. ^Ω	PROTEÍNA ^Ω	FIBRA ^Ω	E.L.N. ^Ω	**IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.03	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-01.05	MO-LSAIA-01.06	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	
UNIDAD	%	%	%	%	%	%	
22-0158	9,10	20,09	1,24	23,84	15,15	39,68	Lenteja de agua (Lemna Minor Deshidratada)

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente

RESPONSABLES DEL INFORME



Elaborado e identificado por:
IVAN RODRIGO SAMANIEGO MAIGUA

Dr. Iván Samaniego, MSc.
RESPONSABLE TÉCNICO



Elaborado e identificado por:
BLADIMIR EFRAIN ORTIZ RAMOS

Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

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 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 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. La información entregada por el cliente y generada durante las actividades de laboratorio es de carácter confidencial, esta dirigida únicamente al destinatario de la misma y solo puede ser usada por este. Los datos marcados con ** son suministrados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza por esta información.

ANEXO 3. Registro fotográfico



Acondicionamiento del estanque de producción de Lemna

Impermeabilización y protección del estanque de producción



ANEXO 4. Registro fotográfico (Continuación...)



Siembra, desarrollo, cosecha y medición de Lemna

Secado y acondicionamiento de Lemna para análisis d



