



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Rizofiltración de las aguas residuales aplicando Lemna minor e
Hydrocotyle vulgaris del distrito de Cabanilla, Puno – 2023**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Ambiental**

AUTOR:

Pari Miranda, Pablo (orcid.org/0009-0006-5773-0014)

ASESOR:

Mg. Montalvo Morales, Kenny Ruben (orcid.org/0000-0003-4403-4360)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024

Dedicatoria

Esta tesis va dedicado a Dios quien nos protege e ilumina para su superarnos día a día; a mi madre Nemesia con quien comparto momentos hermosos; asimismo, a mi esposa Rosa Idalia el amor de mi vida con quien disfruto cada minuto de su compañía; a mis hijas Ileyne Nathaly, Gianela Sahily que son la razón de mi vida; y a todas aquellas personas que diariamente se esfuerzan por sus familias sacrificando su tiempo de descanso para capacitarse, con el fin de mejorar y lograr un futuro mejor para ellos.

Agradecimiento

Quiero agradecer Mg. Kenny Ruben Montalvo quien se empeñó en lograr entraran sus enseñanzas, a nuestros compañeros que siempre nos alentaron a la realización de nuestro proyecto que estas palabras no son suficientes para expresar nuestros agradecimientos, pero espero que con ello se de entender nuestros sentimientos de aprecio y cariño de todos ellos.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, MONTALVO MORALES KENNY RUBEN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Rizofiltración de las aguas residuales aplicando Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris del distrito de Cabanilla, Puno - 2023", cuyo autor es PARI MIRANDA PABLO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 12.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 20 de Mayo del 2024

| Apellidos y Nombres del Asesor: | Firma |
|---|--|
| KENNY RUBEN MONTALVO MORALES DNI: 43713929 ORCID: 0000-0003-4403-4360 | Firmado electrónicamente por: KRMONTALVO el 24- 07-2024 09:17:00 |

Código documento Trilce: TRI - 0751870



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, PARI MIRANDA PABLO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Rizofiltración de las aguas residuales aplicando Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris del distrito de Cabanilla, Puno - 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

| Nombres y Apellidos | Firma |
|---|---|
| PARI MIRANDA PABLO DNI: 41380541 ORCID: 0009-0006-5773-0014 | Firmado electrónicamente por: PPARIM el 25-07-2024 11:57:56 |

Código documento Trilce: INV - 1654856

Índice de contenidos

| | |
|---|------|
| Carátula..... | i |
| Dedicatoria | ii |
| Agradecimiento | iii |
| Declaratoria de Autenticidad del Asesor | iv |
| Declaratoria de Originalidad del Autor..... | v |
| Índice de contenidos | vi |
| Índice de tablas | vii |
| Índice de gráficos y figuras..... | viii |
| Resumen..... | ix |
| Abstract..... | x |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. MARCO TEÓRICO..... | 5 |
| III. METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1. Tipo y diseño de investigación | 13 |
| 3.2. Variables y operacionalización..... | 15 |
| 3.3. Población, muestra y muestreo..... | 16 |
| 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 17 |
| 3.5. Procedimientos | 18 |
| 3.6. Métodos de análisis de datos..... | 23 |
| 3.7. Aspectos éticos | 23 |
| IV. RESULTADOS | 24 |
| V. DISCUSIÓN..... | 41 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 45 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 46 |
| REFERENCIAS..... | 47 |
| ANEXOS | 52 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Clasificación taxonómica de Lemna minor | 11 |
| Tabla 2. Clasificación taxonómica de Hydrocotyle vulgaris | 12 |
| Tabla 3. Operacionalización de variables | 15 |
| Tabla 4. Punto de muestreo | 18 |
| Tabla 5. Características operacionales | 20 |
| Tabla 6. Prueba de normalidad | 35 |
| Tabla 7. ANOVA para hipótesis general..... | 36 |
| Tabla 8. Prueba T-student para hipótesis específica 1 | 37 |
| Tabla 9. ANOVA para hipótesis específica 2..... | 38 |
| Tabla 10. ANOVA para hipótesis específica 3 | 39 |
| Tabla 11. Prueba Tukey | 40 |

Índice de gráficos y figuras

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Contenido de la Temperatura y SST del agua residual..... | 24 |
| Gráfico 2. Contenido de SST, A y G del agua residual..... | 25 |
| Gráfico 3. Contenido de DBO5, DQO y CT del agua residual | 26 |
| Gráfico 4. Temperatura en los tratamientos | 27 |
| Gráfico 5. Potencial de hidrógeno en los tratamientos | 28 |
| Gráfico 6. Sólidos totales en suspensión en los tratamientos | 29 |
| Gráfico 7. Aceites y grasas en los tratamientos | 30 |
| Gráfico 8. Demanda bioquímica de oxígeno en los tratamientos | 31 |
| Gráfico 9. Demanda química de oxígeno en los tratamientos | 32 |
| Gráfico 10. Coliformes termotolerantes en los tratamientos..... | 33 |
| Gráfico 11. Eficiencia de la rizofiltración..... | 34 |
| | |
| Figura 1. Diseño cuasiexperimental | 14 |
| Figura 2. Toma de muestras de agua residual | 19 |
| Figura 3. Rizofiltración (hydrocotyle vulgaris y lemna minor) | 20 |
| Figura 4. Diagrama del procedimiento..... | 22 |

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo general evaluar la capacidad de la rizofiltración de las aguas residuales aplicando *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* del distrito de Cabanilla, Puno – 2023; en la metodología se empleó un diseño experimental de enfoque cuantitativo con un tipo de investigación aplicada; se utiliza como técnica la observación directa, revisión bibliográfica teniendo como instrumentos cadena custodia, fichas de registro de campo. Como muestra se adquirió 480 litros de agua residual a tratar y 500ml para laboratorio; el tipo de muestreo realizado fue no probabilístico a necesidad del investigador. Se realiza 4 tratamientos con 20 und/m de *hydrocotyle vulgaris* y *lemna minor* con tiempo de retención de 4 y 6 días respectivamente. En los resultados, se observa que la capacidad de rizofiltración de las aguas residuales al aplicar *Lemna minor* es del 75.96%, y del 80.29% al utilizar *Hydrocotyle vulgaris*. Al procesar los datos en el software IBM SPSS 22 y realizar el test estadístico ANOVA con un error del 5% y un nivel de confianza del 95%, se obtiene un valor de significancia de 0.046. Por lo tanto, se concluye que la rizofiltración del agua residual con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* es significativa.

Palabras clave: Agua residual, rizofiltración, *hydrocotyle vulgaris*, *lemna minor*

Abstract

The general objective of this research work is to evaluate the capacity of rhizofiltration of wastewater using *lemna minor* and *hydrocotyle vulgaris* from the district of Cabanilla, Puno - 2023; the methodology used was a quasi-experimental design with a quantitative approach and an applied type of research; the technique used was direct observation, bibliographic review with instruments such as chain of custody and field record cards. As a sample, 480 liters of wastewater to be treated and 500 ml for the laboratory were acquired; the type of sampling was non-probabilistic according to the researcher's needs. Four treatments were carried out with 20 und/m of *hydrocotyle vulgaris* and *lemna minor* with a retention time of 4 and 6 days respectively. The results show that the rhizofiltration capacity of the wastewater when applying *Lemna minor* is 75.96%, and 80.29% when using *Hydrocotyle vulgaris*. By processing the data in the IBM SPSS 22 software and performing the ANOVA statistical test with an error of 5% and a confidence level of 95%, a significance value of 0.046 is obtained. Therefore, it is concluded that the rhizofiltration of wastewater with *Lemna minor* and *Hydrocotyle vulgaris* is significant.

Keywords: Wastewater, rhizofiltration, *hydrocotyle vulgaris*, *lemna minor*

I. INTRODUCCIÓN

El estudio aborda la problemática de inadecuado saneamiento de los líquidos residuales por parte de la laguna de estabilización de la municipalidad distrital de Cabanilla. Esta situación se caracteriza por la deteriorada laguna de estabilización la cual carece de aprobación por parte de (ANA) para desechar las aguas correspondientes, las cuales exhiben un estado de deterioro significativo (Apaza, 2022). Los usuarios agrícolas de los sistemas de riego Yanarico y Yocará se han convertido en el epicentro de protestas y discusiones debido al manejo deficiente de sus efluentes, lo que deriva de una gestión inadecuadas de sus efluentes residuales. Esta problemática, a menudo, desencadena un conflicto social y ambiental más amplio que afecta a las comunidades adyacentes al río Cabanillas (Calloapaza, 2021).

Las causas de esta problemática son diversas y complejas. Entre ellas se encuentran la falta de políticas efectivas y protocolos establecidos para la gestión de desechos líquidos en la localidad, además de la escasa conciencia ambiental y responsabilidad social por parte de los funcionarios de la localidad y los miembros agrícolas (Tabinda *et al.*, 2018). La falta de sistemas de tratamiento adecuados y las instalaciones insuficientes para la gestión de los efluentes residuales también contribuyen a esta situación (Quispe *et al.*, 2019).

Las consecuencias de esta problemática son graves tanto para el entorno natural ya que altera a las plantas y animales del lugar, como para el bienestar integral y la salud de las comunidades locales (Nizam *et al.*, 2020). La liberación de desechos líquidos sin un proceso de depuración adecuado promueve la contaminación del suelo que afecta sus cultivos; y el cuerpo lotico, causando un impacto negativo sobre la diversidad biológica y los sistemas ecológicos acuáticos de la región (Huamani *et al.*, 2021). Además, la detección de elementos contaminantes en el cauce acuático del río producto de la descarga de efluentes residuales implica una amenaza para el bienestar de los residentes que tienen por sustento el río Cabanillas para sus labores diarias, como el consumo de agua y la pesca (Jahangiri *et al.*, 2021)

Ante esta problemática, la aplicación de la técnica de rizofiltración con *Hydrocotyle vulgaris* y *Lemna minor* emerge como una solución prometedora y efectiva. Ya que, al implementar la rizofiltración en la laguna de estabilización, se puede mejorar considerablemente las condiciones hídricas y mitigar las consecuencias desfavorables en el entorno natural y el bienestar poblacional (Sikorsky *et al.*, 2023). Asimismo, su uso puede contribuir a reducir las tensiones sociales y los conflictos derivados de la gestión inadecuada de los efluentes agrícolas, promoviendo así una convivencia armoniosa entre los distintos participantes implicados en el asunto (Zhang *et al.*, 2023). En última instancia, la implementación de la rizofiltración representa un paso hacia la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad sostenible del distrito de Cabanilla (Ozfidan-Konakci *et al.*, 2023).

En los aportes que brinda la investigación en relación a la pertinencia, el uso de *Hydrocotyle vulgaris* y *Lemna minor* es altamente pertinente dado que ambas especies son conocidas por su capacidad de absorber contaminantes de aguas residuales y ofrecer una solución biológica, el estudio se alinea con las necesidades ambientales y sociales del distrito de Cabanilla (Mustafa y Hayer, 2021). En relación a la validez, la rizofiltración como técnica para tratar el agua residual está documentada en investigaciones, informes, artículos. No obstante, fue crucial realizar estudios preliminares en el distrito de Cabanillas para validar la eficacia de las plantas seleccionadas bajo las condiciones locales, incluyendo la composición específica del agua y las condiciones climáticas (Buta *et al.*, 2023). En relación a la factibilidad, el implementar un sistema de rizofiltración en humedales artificiales a grandes escalas es podría ser viable, pero requiere una evaluación de los recursos disponibles, como la accesibilidad a las plantas adecuadas y la infraestructura necesaria para instalar y mantener el sistema en la laguna de estabilización. Además, es necesario considerar el mantenimiento continuo y la gestión del sistema para asegurar su funcionalidad a largo plazo (Rassol *et al.*, 2023).

En relación a la aplicabilidad, la técnica es aplicable a nivel local y puede ser adaptada a las características específicas del distrito de Cabanilla. Sin embargo, es fundamental realizar un análisis detallado del impacto ambiental y social

antes de su implementación para asegurar que se minimicen los posibles efectos adversos (Yilmaz *et al.*, 2022).

En relación a la generalización, aunque los resultados podrían ser prometedores en Cabanilla, generalizar la efectividad de la técnica a otras regiones requerirá adaptaciones y podría enfrentar limitaciones debido a diferencias en las condiciones ambientales y socioeconómicas (Jewel *et al.*, 2023)

En relación a la originalidad, el uso de *Hydrocotyle vulgaris* y *Lemna minor* en el contexto específico de una laguna de estabilización municipal representa una aproximación original y creativa al problema del tratamiento de aguas residuales. La propuesta no solo busca resolver un problema técnico, sino también mitigar el impacto social y ambiental asociado, promoviendo la sostenibilidad y el bienestar comunitario (Fu *et al.*, 2022).

Dadas las difíciles circunstancias que se presentan, se ha planteado el **problema general**: ¿Cómo impacta la rizofiltración con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* en los contaminantes de las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno – 2023?, con los **problemas específicos** siguientes PE1: ¿Cuál es el contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual?; PE2: ¿Cómo son las características operacionales retención y biomasa de *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* en la rizofiltración de aguas residuales?; PE3: ¿Cuál será la eficiencia de la rizofiltración de aguas residuales con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris*?

Los argumentos del presente estudio se expondrán de la siguiente manera:

En la justificación ambiental, utilizar *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* favorece la rizofiltración y el desarrollo de condiciones que favorecen la desintegración de los componentes orgánicos existente como los coliformes termotolerantes, DBO5, DQO; asimismo, desempeñan una función primordial de los entornos acuáticos de una manera sostenible sin que se manifieste efectos negativos a los cuerpos de agua. En la justificación social, los agricultores que utilizan los recursos hídricos del río Cabanillas tendrían acceso a un agua más limpia, ya que efluentes vertidos a la masa de agua incluirán menos contaminantes.

En la justificación económica, dado que la *lemna minor* y la *hydrocotyle vulgaris* pueden reproducirse en condiciones controladas y tiene como requerimiento exclusivo de un medio acuático y una fuente lumínica, su importancia se basa en la adaptabilidad para emplearlas en zonas rurales en vista al bajo uso de energía convencional y a la factibilidad de construcción y operaciones de los procedimientos empleados en el tratamiento de efluentes en distintas épocas del año sin incurrir en costes adicionales.

En la justificación económica, dado que la *lemna minor* y la *hydrocotyle vulgaris* pueden reproducirse en condiciones controladas y sólo requieren un medio acuático y una fuente de luz, su importancia se basa en la adaptabilidad para emplearlas en zonas rurales en vista al bajo consumo de energía convencional y a la sencillez de construcción y funcionamiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en distintas épocas del año sin incurrir en costes adicionales.

Igualmente, en la investigación se determina como **objetivo general**: Evaluar el impacto de la rizofiltración de las aguas residuales aplicando *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* del distrito de Cabanilla, Puno – 2023, con los siguientes **objetivos específicos OE1**: Determinar el contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual; **OE2**: Analizar las características operacionales retención y biomasa de *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* en la rizofiltración del agua residual; **OE3**: Determinar la eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris*.

De los objetivos planteados se formuló la **hipótesis general**: La rizofiltración con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* tiene un impacto positivo y significativo en las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno – 2023, con las siguientes **hipótesis específicos HE1**: El contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual superan los LMP; **HE2**: Las características operacionales de 20 und de *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* y 6 días de retención consienten una mayor rizofiltración del agua residual; **HE3**: La eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* es superior al 60%.

II. MARCO TEÓRICO

Al recopilar información, se corrobora una investigación de fondo sobre el tema a escala internacional, nacional y local.

Basílico *et al.* (2017) presentaron su indagación teniendo como objetivo primordial “evaluar las aguas residuales que son descargadas en el arroyo La Chozza mediante una prueba de fitorremediación”. Dentro de la metodología empleada, se aplica un diseño de tipo no experimental, aplicada. Se realizó una prueba de fitorremediación a lo largo de 12 días, donde el efluente se recirculaba continuamente. Se administraron tres tratamientos: uno con *Hydrocotyle ranunculoides* (Hr), otro con iluminación (Ai) y un tercero sin iluminación ni macrófitos. Se analizaron indicadores como el índice mitótico, la frecuencia de anomalías cromosómicas y micronúcleos, además de los niveles de amonio, nitrógeno inorgánico disuelto (DIN), fósforo reactivo soluble (SRP), fósforo total (TP) y marcadores de contaminación fecal. En los resultados, el efluente resultó ser nocivo según los indicadores analizados. Se encontraron altos niveles de amonio, DIN, TP, SRP y marcadores de contaminación fecal. Al finalizar el estudio, los tratamientos que recibieron luz (Hr y Ai) habían disminuido considerablemente la carga de amonio, DIN, SRP y TP. En aporte al tema de investigación, este antecedente aporta información relevante sobre la capacidad de la especie *Hydrocotyle ranunculoides*, similar a *Hydrocotyle vulgaris*, para remover nutrientes y contaminantes de aguas residuales mediante la fitorremediación. Además, resalta la importancia del proceso de remoción de contaminantes.

Quispe *et al.* (2019) ostentaron su estudio teniendo como finalidad optimizar actividad de PTAR de la municipalidad distrital de Sicaya con *Hydrocotyle*, en el proceso metodológico se empleó una modalidad de investigación de orientación cuantitativa en donde se determinó el índice de crecimiento del macrófito y la relación entre el área de crecimiento poblacional y el peso final según los días transcurridos. Se implementaron cercos medianos y se caracterizaron los aspectos microbiológicos y fisicoquímicos del efluente y afluente de la PTAR. En el afluente, se obtuvieron los resultados siguientes: 305.4 mg/L de DQO, 30.3 mg/L de grasas y aceites, 109.2 mg/L de DBO₅, 3,500

000 numero mas probable de microorganismos por cada 100 mililitros de bacterias coliformes termotolerantes y 616 mg/L de SST. Se utilizaron dos rejillas medianas con el proposito de capturar las particulas solida de mayor dimension. Resultados, la mayor eficiencia de eliminación de DQO con respecto al área de crecimiento de Hydrocotyle (2 226,96 m²) fue del 81,53%. Mientras que la eficiencia de eliminación de coliformes termotolerantes fue del 79,2% a una temperatura de 12,32 °C del agua. Utilizando un modelo de optimización operativa en la PTAR con Hydrocotyle, se logró un área de 3 291.67 m² de crecimiento poblacional de macrófitos con una eficacia de remoción de 93.71% para DQO y un área de 3 591.67 m² para remover el 79.95% de coliformes termotolerantes a una temperatura de 13 °C. En aporte al tema de investigacion, este antecedente aporta información valiosa sobre la capacidad de Hydrocotyle, una especie similar a Hydrocotyle vulgaris, para la depuracion de las sustancias perjudiciales en la aguas residuales, específicamente DQO y coliformes termotolerantes. Además, resalta la importancia del área de crecimiento poblacional del macrófito y la temperatura del agua en la eficiencia del proceso de rizofiltración. Estos hallazgos son relevantes para el problema de investigación sobre la rizofiltración de aguas residuales con Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris en el distrito de Cabanilla, ya que brindan información sobre el potencial de estas especies y los factores que influyen en su eficacia.

Rojas y Polanco (2020) ostentaron su estudio de investigación con la finalidad de realizar una evaluación sobre la calidad de fitorremediación de aguas contaminadas con 2 tipos de plantas acuaticas como la Eichornia Crassipes, Lemna Minor y Azolla anabaena. En la metodología se realizo una investigacion experimental longitudinal, se realizaron tratamientos en 12 recipientes de plástico que simulaban agua estancada. Cada contenedor tenía 50 plantas de cada tipo y se llenaron con 60 litros de agua del río Bogotá. Se analizaron los contaminantes orgánicos y fisicoquímicos del agua contaminada en el momento de la recolección. Se empleó la prueba estadística ANOVA para analizar los datos recolectados. Resultados, la macrofita Lemna minor mostró una remoción del 97.11% en la (DQO); la Eichornia crassipes se constató una eficiencia considerable en la eliminación del 53% en la DQO, y el tratamie nto con Azolla

anabaena no presentó remoción alguna en los contaminantes analizados. Aporte al problema de investigación, este antecedente aporta información relevante sobre la capacidad de la especie *Lemna minor*, una de las plantas acuáticas investigadas, para la depuración de los elementos nocivos ya sean orgánicos y fisicoquímicos en aguas residuales. Asimismo se da una elevada efectividad de erradicación de la DQO por parte de *Lemna minor*, lo cual es valioso para el problema de investigación sobre la rizofiltración de aguas residuales con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* en el distrito de Cabanilla. Además, al comparar el desempeño de diferentes especies, este antecedente respalda la selección de *Lemna minor* como una opción prometedora para la fitorremediación.

Torres (2020) ostentó su estudio teniendo la finalidad de evaluar la eficacia del sistema empleando dos especies de macrófitas para tratar los efluentes generados en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali. En la metodología se realiza el tipo de investigación experimental aplicada, se obtuvieron muestras del efluente del campus universitario y se examinaron sus características físicas, químicas y microbiológicas. La investigación fue conducida desde una óptica cuantitativa, mostrando un interés particular en la investigación aplicada y un diseño experimental. Se utilizaron tres tratamientos diferentes: el primero con *Lemna minor*, el segundo con *Eleocharis palustris* (caña de agua) y por último como control con grava. Los tres tratamientos se mantuvieron durante seis semanas con un tiempo de retención constante, evaluando los resultados semanalmente. Resultados, la *Lemna minor* logró reducir un 6,4% el pH, 28,1% la conductividad, 24,7% los sólidos totales suspendidos (STS), 52,8% el oxígeno disuelto, 79,1% la turbidez, 62,9% (DQO), 64,3% la (DBO5), 49,7% el amonio y 99,2% las bacterias coliformes termotolerantes. Conclusiones, el uso de las variedades de *Eleocharis palustris* y *Lemna minor* influyó eficazmente en el tratamiento de los líquidos residuales producidos en el recinto universitario, lo cual concuerda con el objetivo general y responde a la hipótesis general. El método HSD (Honestly significant-difference) de Tukey con un umbral de valor del 5% respalda la conclusión de los exámenes ANOVA de doble factor, que resaltan una variabilidad de

importancia. Aporte al problema de investigación, este antecedente aporta información valiosa sobre la eficacia de Lemna minor en la erradicación de diversos agentes contaminantes hallados en los líquidos residuales, incluyendo oxígeno disuelto, bacterias coliformes termotolerantes, pH, sólidos totales suspendidos, DBO5, conductividad, turbidez, la DQO y amonio. Estos datos son relevantes para el problema de investigación sobre la rizofiltración de aguas residuales con Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris en el distrito de Cabanilla, ya que respaldan el uso de Lemna minor como una especie efectiva en el tratamiento de efluentes contaminados. Además, la comparación con otro tratamiento (*Eleocharis palustris*) brinda información adicional sobre el desempeño relativo de Lemna minor.

Alvarado *et al.*(2020) ostentó su trabajo de investigación teniendo como finalidad de realizar una evaluación sobre la actividad de la especie acuática Lemna minor en la depuración del saneamiento de las aguas contaminadas. Metodología, diseño experimental, cuantitativo, se realizaron tres estudios de tratamiento modificando la proporción de Lemna minor en 100, 200 y 300 gramos, considerando las propiedades de absorción y retención de contaminantes de esta planta. Se aplicaron tiempos de retención constantes, analizando los resultados al tercer, sexto y décimo día después del tratamiento, con una cantidad constante del líquido residual. Resultados, en relación a los factores de contaminación orgánica, la DBO se redujo en un 61%, DQO disminuyó en un 68%, y se obtuvo una remoción total de sólidos suspendidos del 61%. Conclusiones, los autores concluyen que Lemna minor es efectiva en la erradicación de las sustancias nocivas, logrando remociones significativas de DBO, DQO y sólidos suspendidos. Aporte al problema de investigación, este antecedente aporta información relevante sobre la capacidad de Lemna minor para remover contaminantes orgánicos y sólidos suspendidos en aguas residuales. Los resultados muestran eficiencias de remoción considerables para DBO, DQO y sólidos suspendidos, lo cual es valioso para el problema de investigación sobre la rizofiltración de aguas residuales con Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris en el distrito de Cabanilla. Además, al evaluar diferentes

proporciones de *Lemna minor*, este antecedente brinda información sobre la influencia de la cantidad de biomasa vegetal en la eficacia del tratamiento.

Huamani *et al.* (2021) realizaron el presente trabajo investigativo con la meta primordial de examinar la cantidad de eficacia en la depuración mediante dos macrofitas *Eichhornia Crassipes* y *Hydrocotyle bonariensis* para tratar los 6 efluentes residuales vertidas al del río Shullcas. Metodología tipo de investigación aplicada experimental, utilizando dos recipientes con aguas residuales estancadas en contacto con las dos especies de macrófitas durante 21 días. Se empleó el método científico deductivo. Se evaluaron los parámetros al principio hasta la culminación del tratamiento de fitorremediación. Teniendo como respuesta, la especie *Eichhornia crassipes* mostró los siguientes porcentajes de remoción: para coliformes termotolerantes y 99,90%, para aceites y grasas 73,47%, para 2,48% para pH, para DQO 62,41 para DBO5, 62,41% para *Escherichia coli*. Por otra parte, *Hydrocotyle bonariensis* obtuvo una remoción del 99,90% para *Escherichia coli*, 99,90% para coliformes termotolerantes, 99,90% para aceites y grasas, y 6,88% para pH, Conclusiones, *eichhornia crassipes* se comprobó un mejor rendimiento en la erradicación de agentes infecciosos en comparación con *Hydrocotyle bonariensis*. Aporte al problema de investigación, este antecedente aporta información valiosa sobre la eficacia de *Hydrocotyle bonariensis*, una especie similar a *Hydrocotyle vulgaris*, en la depuración de sustancias nocivas en aguas residuales. Los resultados muestran altos porcentajes de remoción para *Escherichia coli*, coliformes termotolerantes, aceites y grasas, lo cual es relevante para el problema de investigación sobre la rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris*. Además, al comparar el desempeño con *Eichhornia crassipes*, se brinda información adicional sobre las capacidades relativas de ambas especies. Estos hallazgos contribuyen a comprender el potencial de *Hydrocotyle vulgaris* y los factores que influyen en su eficacia.

Umasi (2019) su informe tuvo el objetivo principal determinar la eficacia de dos especies fitorremediadoras para el tratar el agua residual doméstica generada en las instalaciones de la UPeU. El plan se efectuó cerca del campus universitario. Metodología, tipo de investigación aplicada experimental, el

estudio se efectuó cerca del campus universitario. Se realizaron cálculos matemáticos para caracterizar los componentes de la (SST), (DQO), y (DBO5) presentes en los líquidos residuales del campus. Se adquirieron materiales para instalar tres humedales artificiales: uno de control, uno con *Schoenoplectus californicus* y otro con *Hydrocotyle vulgaris*. Cada tratamiento tuvo una duración de 5 y 15 días de retención hidráulica, analizando el agua de salida para verificar la disminución de los parámetros. Resultados, las concentraciones de SST, DQO y DBO5 fueron removidas en un 96% en el tercer humedal (H3) con *Hydrocotyle vulgaris*, 85%, 88% y 86% en el segundo humedal (H2) con *Schoenoplectus californicus*, y 79%, 81% y 79% en el primer humedal (H1) de control, respectivamente. Conclusiones, los tres humedales fueron efectivos, ya que los resultados indicaron que los contaminantes analizados no superaron los límites permisibles según la normativa peruana, siendo aptos para su vertimiento a cuerpos receptores. Aporte al problema de investigación, este antecedente aporta información valiosa sobre la eficacia de *Hydrocotyle vulgaris* en la depuración SST, DQO y DBO5 en los fluidos residuales domésticos, logrando remociones del 96%. Estos resultados son relevantes para el problema de investigación sobre la rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* en el distrito de Cabanilla, ya que respaldan el potencial de *Hydrocotyle vulgaris* como especie fitorremediadora. Además, al comparar su desempeño con otras especies y un control, se brinda información adicional sobre su efectividad relativa. Este antecedente contribuye a comprender el tratamiento mediante las capacidades de *Hydrocotyle vulgaris*.

Las siguientes bases teóricas constituyen los fundamentos teóricos de la investigación:

La rizofiltración es un proceso fitorremediador que emplea las raíces de las plantas para purificar efluentes líquidos, aguas subterráneas, aguas superficiales y otras sustancias contaminadas con contaminantes orgánicos (Liu *et al.*, 2018). Las plantas desarrolladas para este fin se siembran en invernaderos, en lugar de utilizar tierra se usa agua en las raíces, la raíz de la planta entra en relación con el agua o el efluente que hay que desinfectar una

vez que sus sistemas radiculares se han establecido completamente (Guevara et al., 2009)

El macrófito acuático *Lemna minor*, es una especie acuática flotante perteneciente a la especie Lemnaceae. Estas plantas acuáticas son las angiospermas más pequeñas del mundo y tienen tasas de multiplicación rápidas; se usa comúnmente para tratar las aguas contaminadas domésticas, produciendo simultáneamente la eliminación eficiente de nutrientes, la producción de biomasa y la eliminación de microcontaminantes orgánicos e inorgánicos tóxicos (Koutoula *et al.*, 2020). Aunque tiene su origen en el Amazonas, actualmente se encuentra en todos los climas tropicales y subtropicales que hay a nivel mundial (Jaramillo y Flores, 2012). Puede crecer en una amplia escala de temperaturas, que están entre el intervalo de 5 y los 30 grados centígrados, con un desarrollo ideal entre los 15 y los 18 grados centígrados. Se adapta a cualquier situación lumínica y se desarrolla rápidamente en entornos serenos y ricos en nutrientes (Arroyave, 2004). En lugar de un tallo separado, tienen una estructura combinada llamada fronda, cuyo diámetro oscila entre 0,1 y 2 centímetros y sirve como parte flotante de la planta, lo que le permite que floten en la superficie del agua (Rodríguez, *et al.* 2010)

Tabla 1. Clasificación taxonómica de *Lemna minor*

| <i>Lemna minor</i> | |
|--------------------|-----------------|
| Reino | Plantae |
| Division | Magnoliophyta |
| Clase | Liliopsida |
| orden | Liliales |
| Subfamilia | Lemnoideae |
| Nombre común | Lenteja de agua |

Fuente: referencia del autor Koutoula (2020)

Hydrocotyle vulgaris, es una macrófita duradera con tallos que no son rígidos, que arraigan en los nodos. Asimismo, estos tallos generan hojas medio culares, crenuladas, de 0,6 a 4 cm x 0,6 a 4 cm, con 6 a 10 nervios, presentan hasta 25 cm de peciolo y que pueden tener una pilosidad patente y alargada. En la base de cada hoja hay dos estípulas membranosas de un milímetro de longitud. (Díaz, 2011). Las flores se asemejan a umbelas terminales con 1 a 5 verticilos inferiores, y tienen inflorescencias de cinco a doce milímetros más pequeñas o comparables a la hoja en donde la axila emerge. Por otra parte, las flores son sésiles o subsésiles y contienen pétalos blancos o amarillentos de hasta un milímetro de longitud que forman la corola. Tiene una base cordiforme, costillas prominentes y es de ovoide-elipsoidal a suborbicular, empaquetada de forma horizontal y de unos dos milímetros de ancho. Florecen en los meses de mayo a octubre (Calloapaza, 2021)

Tabla 2. Clasificación taxonómica de *Hydrocotyle vulgaris*

| <i>Hydrocotyle vulgaris</i> | |
|-----------------------------|------------------|
| Reino | Plantae |
| Division | Magnoliophyta |
| Clase | Magnoliopsida |
| Orden | Apiales |
| Subfamilia | Hidrocotyloideae |
| Nombre común | Sombrero de agua |

Fuente: referencia del autor Calloapaza (2021)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación presentada se caracteriza por su naturaleza "aplicada", dado que su enfoque se centra en la aplicación de conocimientos establecidos sobre rizofiltración con el fin de resolver un desafío concreto, tal como el tratamiento de aguas residuales. El enfoque investigativo será cuantitativo, ya que se busca medir y cuantificar la eficiencia de la rizofiltración utilizando *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* para la purificación de los líquidos residuales. Se recolectarán y analizarán datos numéricos sobre los factores microbiológicos y físico-químicos del agua al inicio y después del tratamiento (Hernández y Fernández, 2016)

3.1.2. Diseño de investigación

El trabajo actual se fundamentó en un enfoque "experimental"; dado que se manipularán elementos independientes (especies macrófitos utilizadas) para analizar los efectos sobre las variables dependientes (parámetros de calidad del agua residual). Específicamente el diseño experimental longitudinal porque los datos se recolectarán en diferentes puntos en el tiempo para evaluar la evolución y eficiencia del tratamiento en el transcurso de tiempo determinado (Hernández y Fernández, 2016)

Síntesis del diseño de investigación:

Se propone llevar a cabo un diseño experimental que incorpore una evaluación previa y posterior, además de la inclusión de un grupo control.

- Grupo experimental 1: Aguas residuales tratadas con *Lemna minor*.
- Grupo experimental 2: Aguas residuales tratadas con *Hydrocotyle vulgaris*.
- Grupo control: Aguas residuales sin tratamiento.

Se realizarán mediciones iniciales (pre-prueba) de los parámetros de calidad del agua en todos los grupos. Luego se aplicará el tratamiento con las especies a los grupos experimentales durante un periodo de tiempo determinado.

Finalmente, se harán mediciones posteriores (post-prueba) en todos los grupos para comparar los resultados y determinar la eficiencia del tratamiento.

Este diseño permitirá comparar los resultados entre los grupos experimentales y el grupo control, así como entre las dos especies evaluadas.

Figura 1. *Diseño cuasiexperimental*



Fuente: referenciado de los autores Hernández y Fernández (2016)

3.2. Variables y operacionalización

Tabla 3. Operacionalización de variables

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Unidad de medida |
|--|--|--|--|--|------------------|
| Independiente Rizofiltración | El objetivo de la rizofiltración es emplear las raíces para que absorban los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual (Huamani, Huayta, Ortega, 2021) | Las macrofitas <i>lemna minor</i> y <i>hydrocotyle vulgaris</i> se colocaron en recipientes, las cuales contenían efluentes | <i>Tiempo de retención</i> | 4 y 6 rizofiltración (<i>hydrocotyle vulgaris</i>) | días |
| | | | | 4 y 6 rizofiltración (<i>lemna minor</i>) | días |
| | | | <i>Cantidad de macrófito</i> | 20 und/m macrofitas (<i>hydrocotyle vulgaris</i>) | und |
| | | | | 20 und/m macrofitas (<i>lemna minor</i>) | und |
| Dependiente Agua residual | Las aguas residuales son la acumulación de todos los residuos líquidos generados en hogares, industrias, instituciones y otras organizaciones (CCOICCA, 2022) | En la fase experimental, se logrará que las raíces de la <i>lemna minor</i> y <i>hydrocotyle vulgaris</i> a través de la rizofiltración puedan absorber los compuestos orgánicos | Concentración los parámetros fisicoquímicos y biológicos | Temperatura | °C |
| | | | | SST | mL/L |
| | | | | pH | und. pH |
| | | | | Aceites y grasas | mg/L |
| | | | | DBO5 | mg/L |
| | | | | DQO | mg/L |
| | | | Coliformes termotolerantes | NMP/100mL | |
| <i>Eficiencia de remoción</i> | $\% \text{ Eficiencia} = \left(1 - \frac{\text{concentracion final}}{\text{concentracion inicial}}\right) * 100$ | | | | |

3.3. Población, muestra y muestreo

3.3.1. Población

Los vertidos líquidos (agua residual) generados en del distrito de Cabanilla constituyen la población que cumplen con los parámetros de inclusión previamente definidos. Fueron excluidos todas aquellas aguas residuales que presenten alguna de las condiciones mencionadas en los criterios de exclusión, con el fin de mantener la representatividad de las aguas residuales propias de la zona de estudio.

Criterios de exclusión:

- Aguas residuales generadas por actividades industriales a gran escala.
- Aguas residuales que hayan recibido algún tipo de tratamiento previo.

Criterios de inclusión:

- Aguas residuales generadas por actividades domésticas en el distrito de Cabanilla.
- Aguas residuales que provengan de descargas directas a sistemas de alcantarillado del distrito.

3.3.2. Muestra

La composición de la muestra para la presente investigación comprende un volumen total de 480 litros de aguas residuales. De este total, 240 litros están destinados a ser tratados mediante la especie *Hydrocotyle vulgaris*, y una cantidad equivalente, 240 litros, será tratada utilizando *Lemna minor*. Adicionalmente, se reservan 500 mililitros de la muestra para realizar análisis en el laboratorio. Dicha muestra se consideró de acuerdo a las dimensiones del prototipo del humedal artificial diseñado para tratar el agua residual y las cantidades adecuadas de las especies *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris*. Este prototipo ha sido escalado para establecer los volúmenes mencionados en función de las dimensiones y capacidades de los sistemas de rizofiltración utilizados.

3.3.3. Muestreo

En el proyecto se implementó un método de muestreo no probabilístico puntual simple, ya que se emplea según la conveniencia del investigador, “el muestreo no probabilístico selecciona individuos de toda la población para constituir la muestra” (Hernández y Fernández, 2016)

3.3.4. Unidad de análisis

El proyecto investigativo se limita al volumen de aguas residuales que está siendo considerado y analizado dentro del marco de este estudio de rizofiltración. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizarán sobre estas muestras de agua residual, y la eficiencia del tratamiento la evaluación se realizará tomando en cuenta las alteraciones observadas en los aspectos que caracterizan la calidad del agua previo y posterior del tratamiento con las especies vegetales.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas — las metodologías empleadas en el actual proyecto consistieron en la observación: se realizó un seguimiento sistemático del proceso de rizofiltración, registrando cualquier cambio físico observable en las plantas y el agua residual durante el tratamiento. La revisión de investigaciones y libros: se realiza la identificación de fuentes, selección del material, lectura crítica con el fin de organizar sintetizar. Métodos estadísticos: se lleva a cabo una planificación del proceso para la obtención de datos con la finalidad de examinar los resultados posteriormente, este último se utilizó en referencia al autor (Tetzlaff et al. , 2021)

Instrumentos — se empleó el protocolo de inspección en los recursos hídricos superficial: el cual sirvió de guía para estandarizar los procedimientos de muestreo, preservación, transporte y análisis de los ejemplares de agua residual. Otro instrumento utilizado es la cadena de custodia: de efluentes permitió mantener un control estricto y rastreado de las muestras desde su toma hasta su análisis en el laboratorio. Por último, se utilizó las fichas de registro de campo: estas fichas incluyeron información como el punto de muestreo, la fecha y hora, las condiciones ambientales, las

propiedades sensoriales del agua, junto con cualquier evento o aspecto destacado.

Validación y confiabilidad del instrumento — se llevó a cabo una verificación de los implementos empleados, considerando el juicio de tres especialistas en el campo para su análisis, asimismo, dieron el visto bueno y aprobaron las fichas utilizadas como instrumentos, en la recopilación de los datos requeridos en el proyecto y se concluyó con la credibilidad mediante el Alfa de Cronbach.

- Alfa de Cronbach 0.881 (instrumento 1): ficha de registro contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual.
- Alfa de Cronbach 0.913 (instrumento 2): ficha de registro de la rizofiltración de agua residual *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris*.

3.5. Procedimientos

A. Determinar el contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual

- Primeramente, se realizó un recorrido por el entorno del efluente de oxidación, se encuentra en la municipalidad distrital de Cabanilla y se ubicó el sitio más asequible y de menor peligro para tener las pruebas.
- Con un sistema de posicionamiento global (GPS) se obtuvo los ejes UTM del punto identificado para el muestreo, estas se encuentran en la tabla 4; asimismo, se observa la situación geográfica de los tratamientos.

Tabla 4. Punto de muestreo

| Código | Nombre del punto | Coordenadas | |
|--------|--|-------------|--------------|
| M-0 | Punto de descarga agua residual | 357060.43 E | 8272379.85 N |
| M-1 | T-1 agua residual + <i>Hydrocotyle vulgaris</i> (4 días) | 354521.91 E | 8273119.66 N |
| M-2 | T-2 agua residual + <i>Hydrocotyle vulgaris</i> (6 días) | 354521.91 E | 8273119.66 N |
| M-3 | T-3 agua residual + <i>Lemna minor</i> (4 días) | 354523.90 E | 8273116.36 N |
| M-4 | T-4 agua residual + <i>Lemna minor</i> (6 días) | 354523.90 E | 8273116.36 N |

- Para la toma de pruebas, se hizo un muestreo simple puntual y se tuvo en consideración lo indicado en el protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales (ANA, 2016)
- Posteriormente, se rellenó la cadena custodia y se transportaron las muestras hacia el laboratorio para el análisis correspondiente.

Figura 2. Toma de muestras de agua residual



Fuente: Elaboración propia

B. Analizar las características operacionales retención y biomasa de lemna minor e hydrocotyle vulgaris en la rizofiltración del agua residual

- Para realizar el tratamiento de rizofiltración con Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris se adquirieron los materiales y componentes necesarios
- Los macrofitos *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* fueron seleccionadas en base a las características físicas (color y volumen)
- El tratamiento consistió en tres etapas: en la Etapa I (Filtración natural) se excavó zanjas con una medida de 40x40cm con una profundidad de 40cm, esta etapa consistió en la reducción de partículas en suspensión y retenedor de grasas y aceite del efluente residual.
- En la etapa II se procedió con el tratamiento de rizofiltración, para lo cual, se colocaron los macrófitos distribuidos de forma homogénea en el agua

residual, antes de ello se excavo 2 cauces de medidas 1.40 x 0.6 x 0.4 m. A continuación, se detallan en la siguiente tabla las características de los tratamientos que se emplearon:

Tabla 5. Características operacionales

| Tratamiento | Especies | Cantidad de Biomasa | Tiempo de retención | Muestra |
|-------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|---------|
| T- I | <i>hydrocotyle vulgaris</i> | 20 | 4 | 240 L |
| T- II | <i>hydrocotyle vulgaris</i> | 20 | 6 | |
| T- III | <i>lemna minor</i> | 20 | 4 | 240 L |
| T- IV | <i>lemna minor</i> | 20 | 6 | |

Fuente: Elaboración propia

- La etapa III consistió en la descarga del agua limpia y la toma de muestra de cada tratamiento para analizar los parámetros biológicos y fisicoquímicos en el área laboratoria.

Figura 3. Rizofiltración (*hydrocotyle vulgaris* y *lemna minor*)



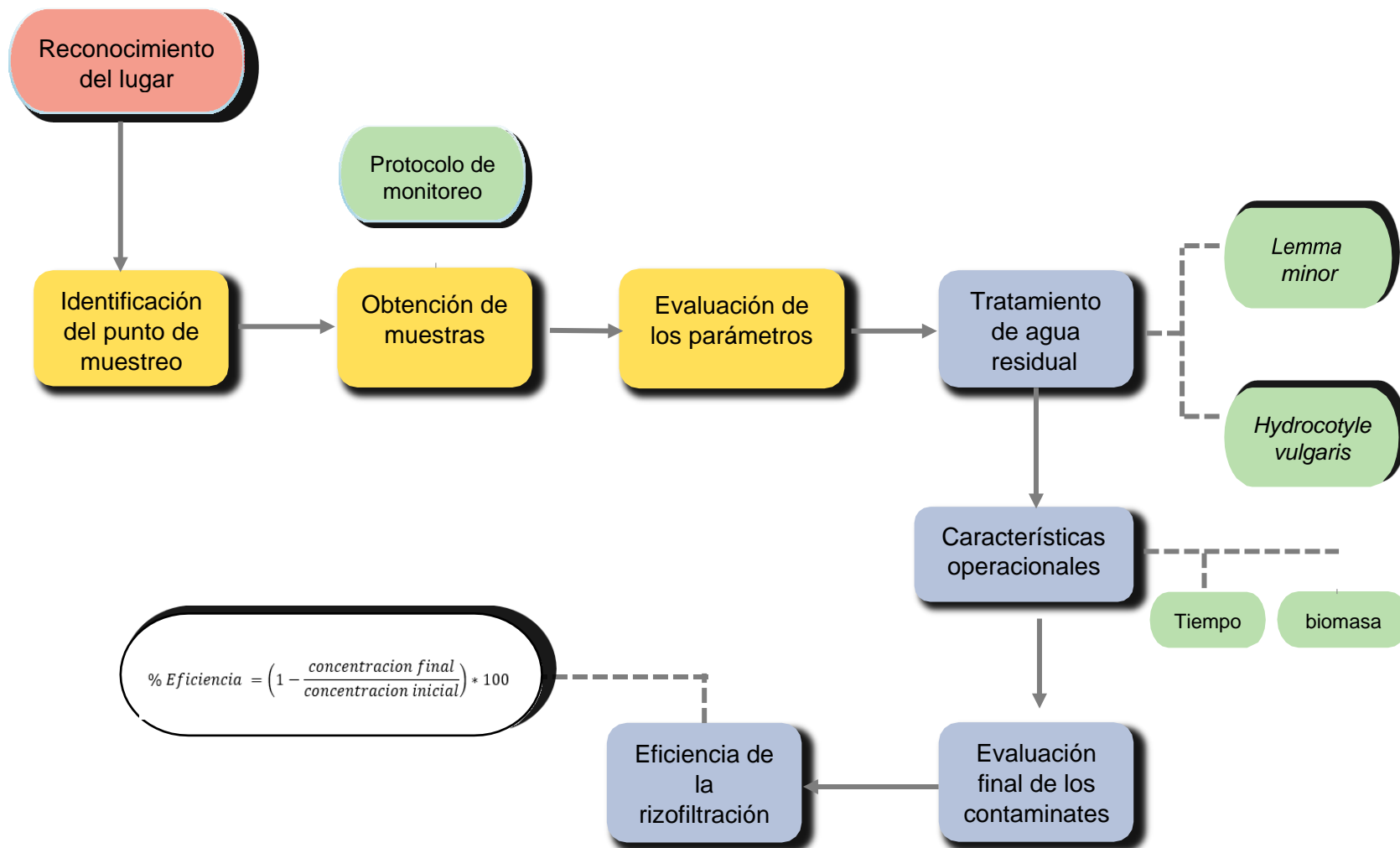
Fuente: Elaboración propia

C. Determinar la eficiencia de la rizofiltración del agua residual con lemna minor e hydrocotyle vulgaris

- Una vez obtenida los resultados de las muestras de agua residual tratada por rizofiltración con lemna minor e hydrocotyle vulgaris se subieron al software Excel para su procesamiento e investigación.
- Para establecer la eficacia de la rizofiltración con lemna minor e hydrocotyle vulgaris en el saneamiento de las aguas contaminadas producidas en el distrito de Cabanilla, se usó la ecuación siguiente:

$$\% \text{ Eficiencia} = \left(1 - \frac{\text{concentracion final}}{\text{concentracion inicial}}\right) * 100$$

Figura 4. Diagrama del procedimiento



3.6. Métodos de análisis de datos

Se realizó la demostración de hipótesis utilizando el modelo de análisis de datos T- Student y análisis de varianza (ANOVA), ya que examina la diferencia entre los tratamientos, asimismo, un examen de regularidad para efectuar si los datos cuentan con una división estándar y dar a conocer los valores de significancia de la prueba.

Los métodos de análisis consisten en separar los elementos vitales de la información y analizarlos en su totalidad para corroborar o desmentir las diferentes hipótesis formuladas a lo largo de la investigación. La estadística inferencial, son los procedimientos que determinan la probabilidad de especular sobre los datos y/o las hipótesis desarrolladas (Hernández y Fernández, 2016)

3.7. Aspectos éticos

En la indignación realizada, se dio énfasis prioritario a la adhesión a los estándares científicos, considerados fundamentales para preservar la integridad y la calidad del estudio. También se aseguró el cumplimiento de los principios éticos y las normativas que dicta la Universidad César Vallejo. Con este propósito, se incorporó el uso de las normas ISO 690, vitales para la adecuada citación y referenciación de las fuentes consultadas, garantizando así la transparencia y el adecuado reconocimiento de los trabajos anteriores. Además, con el objetivo de reforzar la veracidad y la originalidad del contenido científico presentado, se hizo uso del software Turnitin. Esta herramienta resultó esencial para identificar posibles coincidencias o similitudes con trabajos previos, contribuyendo a la prevención del plagio y la protección de los derechos de autor. Esta estrategia no solo fortaleció la credibilidad de los resultados obtenidos, sino que también apoyó la consolidación de una cultura de respeto por la propiedad intelectual y la ética académica. En su conjunto, estas medidas fueron imprescindibles para asegurar que la investigación se desarrollara conforme a los más elevados estándares éticos y profesionales.

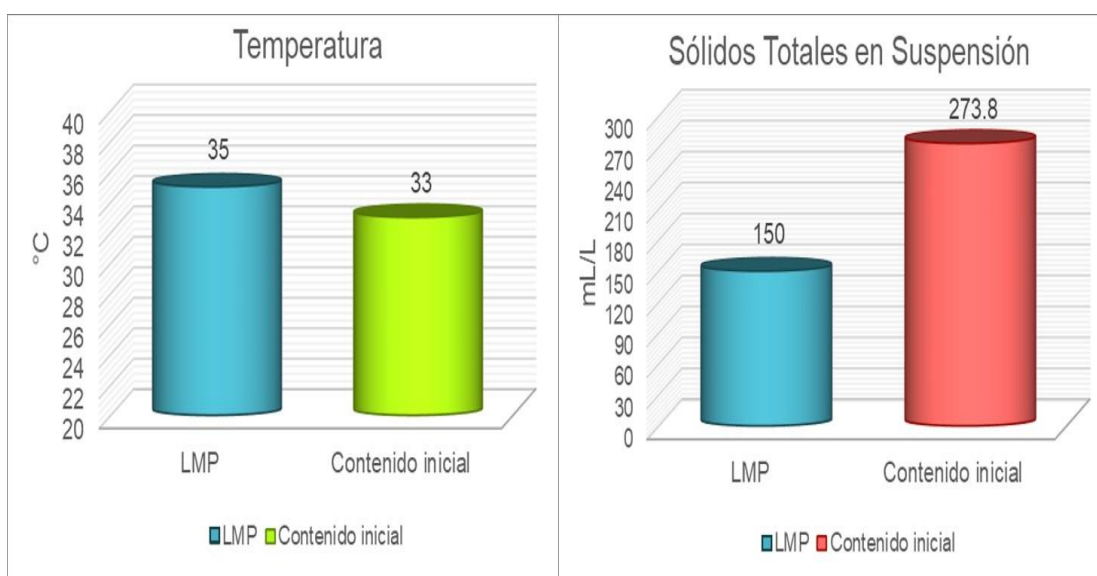
IV. RESULTADOS

4.1. Contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual residual

Se presentan a continuación los datos obtenidos del contenido de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual en el punto de muestreo en el distrito de Cabanilla.

A. Contenido inicial de los parámetros fisicoquímicos

Gráfico 1. *Contenido de la Temperatura y SST del agua residual*



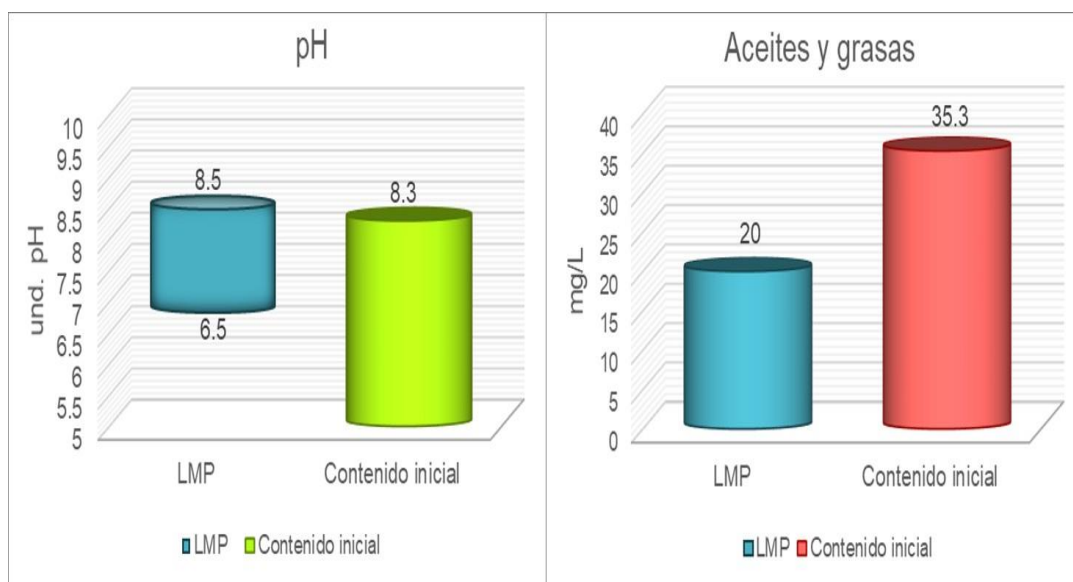
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 1 se exponen los resultados de la variación del contenido de temperatura y SST del efluente de la PTAR del distrito de Cabanilla. Se observa 273.8 mL/L de SST, lo que indica que sobrepasan los márgenes máximos permitidos. En cambio, se muestra una temperatura de 33°C que se ubica dentro del grado dado en la normativa.

El contenido elevado de SST en el efluente puede atribuirse a una posible insuficiencia en la aptitud del programa de tratamiento con el fin de disminuir eficazmente este parámetro, esto dificulta la eficacia de los procesos físicos implicados en la eliminación, el control y la sedimentación de los SST.

Asimismo, las acumulaciones elevadas de las moléculas en suspensión en depósitos de agua como embalses, lagos, ríos y arroyos pueden tener efectos perjudiciales en el sistema ecológico circundante. Estos factores influyen en los niveles de turbidez, lo que provoca un calentamiento acelerado del agua debido a la mayor absorción de calor por las partículas en suspensión, asimismo provoca un agotamiento del oxígeno y dificulta la síntesis de plantas hidrófilas al disminuir la capacidad de transporte de la luz. En última instancia, estos impactos podrían tener consecuencias perjudiciales para la ecología acuática del río Cabanilla.

Gráfico 2. *Contenido de SST, A y G del agua residual*



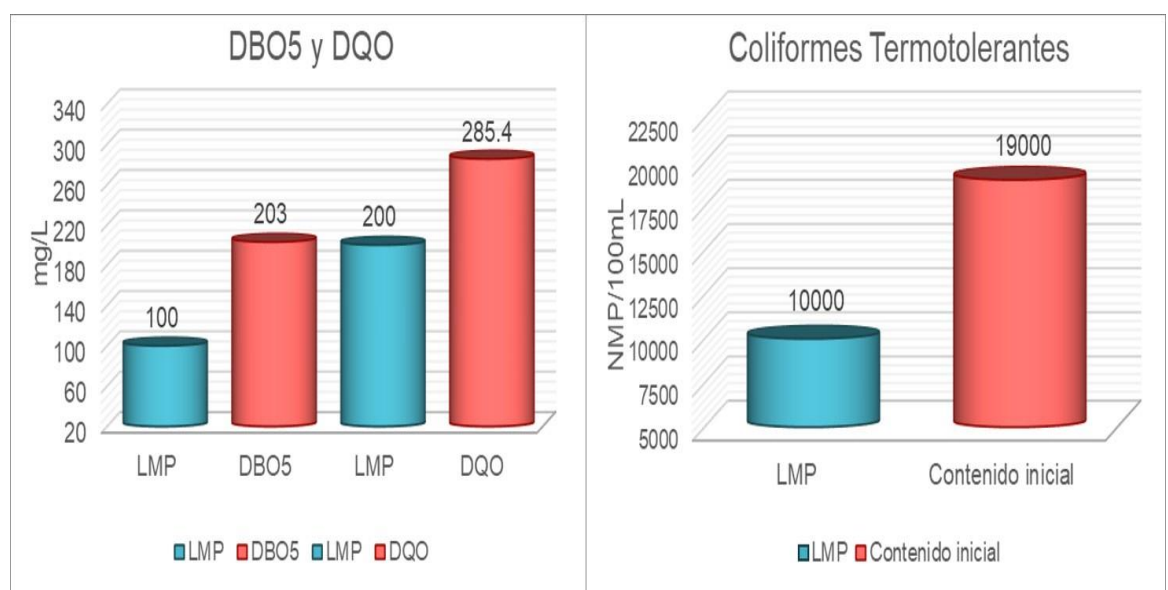
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2 se exhiben los datos relativos al pH y al nivel de aceites y grasas en el efluente (PTAR) en el distrito de Cabanilla. Se registra que la cantidad de sólidos totales en suspensión alcanza los 273.8 mL/L, superando los límites permisibles, mientras que el pH, con un valor de 8.3, se mantiene dentro de los rangos aceptables. El elevado contenido de grasas y aceites en las aguas contaminadas se atribuye a los desechos generados por la actividad ganadera en la región. Además, respecto a la laguna facultativa, el proceso de separación física primaria no opera de manera eficiente, lo que provoca la formación de

capas (natas y espumas) en la superficie debido a la inmiscibilidad de estos elementos con el agua. La presente circunstancia obstaculiza el intercambio gaseoso entre la hidrosfera y la atmósfera, restringiendo el ingreso de oxígeno al medio acuático y la liberación de dióxido de carbono hacia la atmósfera, generando consecuencias adversas en la biodiversidad vegetal y animal del río Cabanilla.

B. Contenido inicial de los parámetros biológicos

Gráfico 3. Contenido de DBO5, DQO y CT del agua residual



Fuente: Elaboración propia

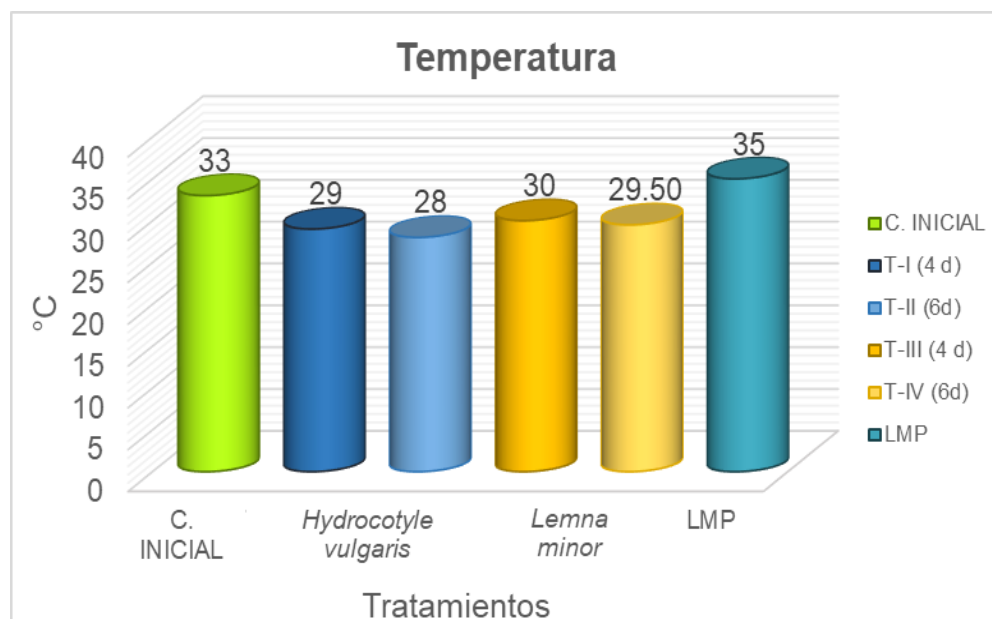
En el gráfico 3 se exponen los resultados obtenidos del contenido de los valores biológicos del efluente de la PTAR Cabanilla. Se observa un contenido de 203 mg/L, 285.4 miligramos por litro y 19000 NMP/100mL de los valores de DQO y DBO5, y bacterias coliformes termo tolerantes respectivamente, las cuales se están por encima de los LMP. Esto podría explicarse por el hecho de que una proporción significativa de la población está involucrada en actividades tales como la manufactura, la producción y procesamiento de alimentos derivados del sector ganadero, así como también al uso de fertilizantes en la agricultura generando efluentes con volúmenes elevados de materia orgánica las cuales

son descargadas al sistema de alcantarillado sin ser tratadas. Esto también es debido a que el método utilizado para purificar la laguna de oxidación en la región de investigación es inadecuado y se encuentra en condiciones deficientes. La elevada presencia de estos agentes contaminantes tiene efectos notorios en los cuerpos de agua, ya que suministran una gran cantidad de nutrientes a los microorganismos, promoviendo su proliferación rápida. Esto, a su vez, conlleva a la disminución del oxígeno y genera impactos negativos en los ecosistemas acuático.

4.2. Análisis de las características operacionales retención y biomasa de *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* en la rizofiltración del agua residual

A. Parámetros fisicoquímicos del agua residual tratada

Gráfico 4. Temperatura en los tratamientos

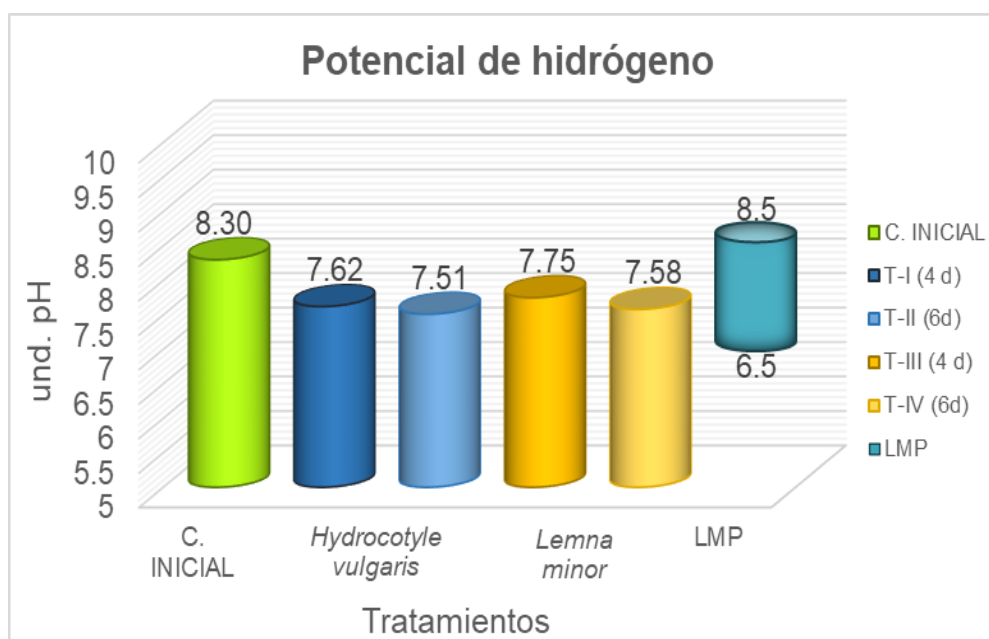


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4 se presentan los datos obtenidos de la variación de la temperatura en los tratamientos T-I, T-II, T-III y T-IV, los cuales oscilan de 28 a 30°C centrándose dentro de los LMP. Observándose que el tratamiento II de

rizofiltración utilizando la especie *hydrocotyle vulgaris* con un tiempo de retención de 6 días, alcanzó un valor de 28°C lo que influyó a que haya un mayor transporte de oxígeno en el tratamiento. No obstante, el tratamiento III y IV con la especie *lemna minor* con un tiempo de retención de 4 días y 6 días presentaron una variación de temperatura de 30°C y 29.50°C respectivamente, lo que influyó en la sedimentación de partículas.

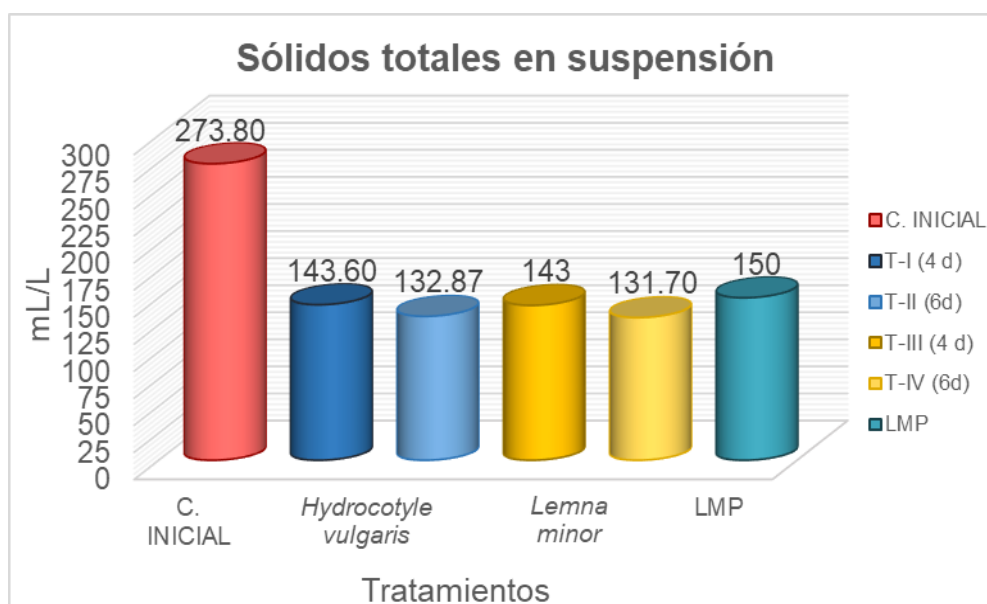
Gráfico 5. *Potencial de hidrógeno en los tratamientos*



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 5 se aprecia los datos de la variabilidad del pH en los saneamientos de rizofiltración T-I, T-II, T-III y T-IV, en donde se observa una variación que oscila de 7.75 a 7.51 und. pH. La figura indica que el pH en el tratamiento II (TR= 6 días/ *hydrocotyle vulgaris*) mostró una mayor variabilidad dando un valor de 7.51 und. pH. En cambio, el tratamiento III (TR= 4 días/ *Lemna minor*) obtuvo una menor variación con 7.75 und. pH a diferencia del contenido inicial.

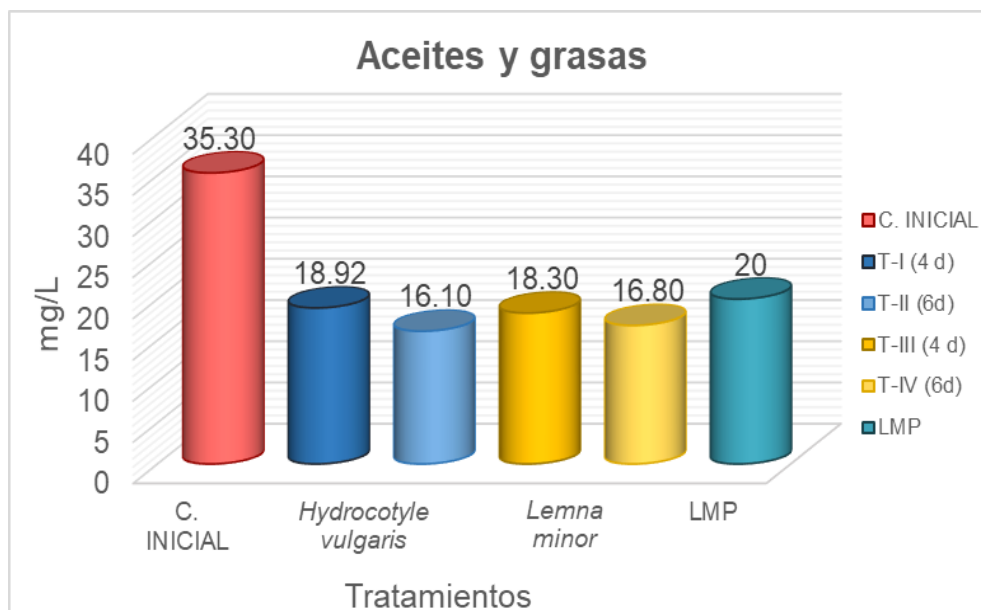
Gráfico 6. Sólidos totales en suspensión en los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 6 se exponen los datos de los sólidos totales en suspensión obtenidos en los tratamientos T-I, T-II, T-III y T-IV. Observándose que el tratamiento IV empleando Lemna minor con un tiempo de retención de 6 días presentó una mayor remoción de SST dando un valor de 131.70 mL/L, esto acontece a que el nivel de turbidez baje lo cual influyó positivamente en el transporte de luz. En cambio, el tratamiento I (TR= 4 días/ hydrocotyle vulgaris) obtuvo una menor remoción (143.60 mL/L) a diferencia de los demás tratamientos, resultando ser este tratamiento con menor eficiencia en la reducción de SST.

Gráfico 7. Aceites y grasas en los tratamientos

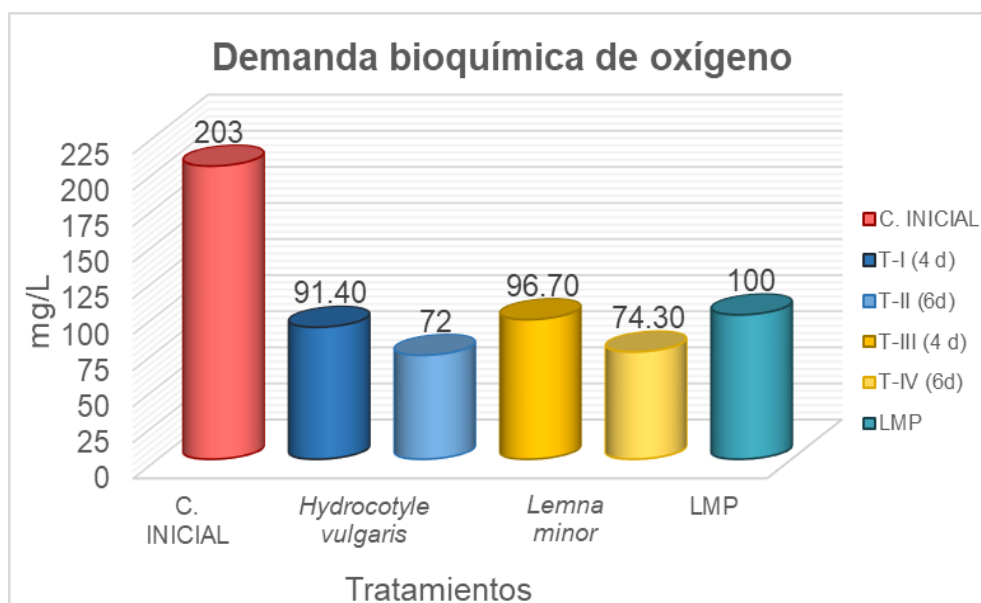


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 7 se exponen los resultados del contenido de grasas y aceites en los saneamientos T-I, T-II, T-III y T-IV. Se observa que, el tratamiento II con características de un tiempo de retención de 6 días empleando la especie *hydrocotyle vulgaris* presentó una mayor reducción de AyG con un contenido de 16.10 mg/L resultando ser el tratamiento más óptimo. Asimismo, esto indica que hay una adecuada transferencia de oxígeno en el tratamiento; mientras que, el tratamiento IV con *Lemna minor* con el mismo tiempo de retención obtuvo una remoción hasta 16.80 mg/L.

B. Parámetros biológicos del agua residual tratada

Gráfico 8. Demanda bioquímica de oxígeno en los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 8 se aprecia los resultados de DBO5 en los cuatro tratamientos. En donde se obtuvo mayor remoción en el tratamiento II con la especie *Hydrocotyle vulgaris* con un tiempo de retención de 6 días reduciendo el contenido inicial a 72 mg/L a diferencia del tratamiento IV con *lemna minor* que presentó una menor remoción a 74.30 mg/L, resultando ser el T-II el más óptimo. En cambio, los tratamientos con un tiempo de retención de 4 días mostraron menor remoción de DBO5 con un 91.40 mg/L y 96.70 mg/L con *Hydrocotyle vulgaris* y *lemna minor* respectivamente.

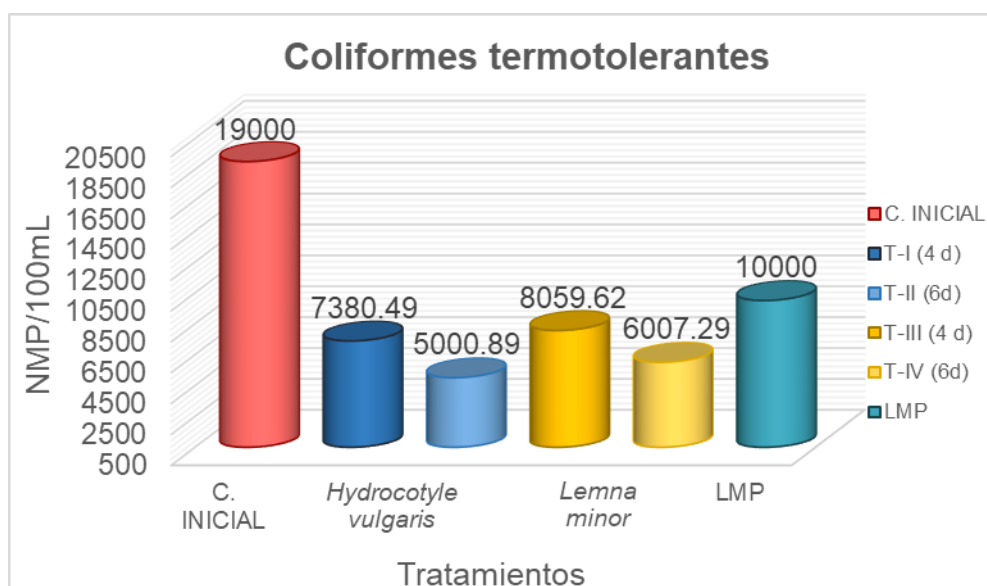
Gráfico 9. Demanda química de oxígeno en los tratamientos



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 9 se observan los datos resultantes de DQO que se obtuvieron en los tratamientos de rizofiltración. En donde, el tratamiento II utilizando la especie *Hydrocotyle vulgaris* con un tiempo de retención de 6 días presentó mayor remoción alcanzando un valor de 135.90 mg/L a diferencia del tratamiento IV con *lemna minor* que presentó una menor remoción a 147.10 mg/L, resultando ser el T-II el más óptimo. Mientras que los tratamientos con un tiempo de retención de 4 días mostraron menor remoción de DQO con un 175.70 mg/L y 184.30 mg/L con *Hydrocotyle vulgaris* y *lemna minor* respectivamente.

Gráfico 10. Coliformes termotolerantes en los tratamientos

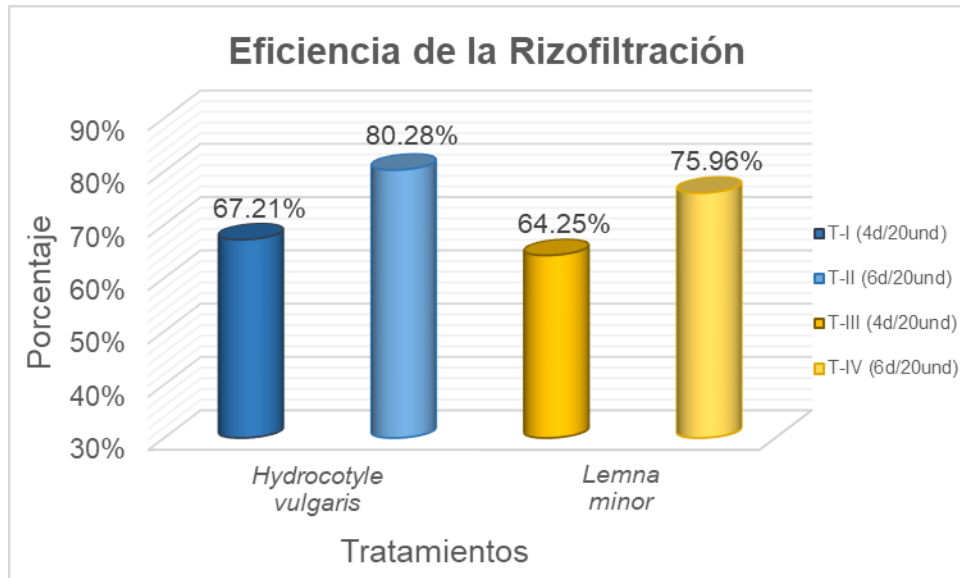


Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 10 se aprecian los datos obtenidos del contenido de coliformes termotolerantes en los diferentes tratamientos realizados. En donde se observa una mayor remoción de este parámetro en el tratamiento II empleando *Hydrocotyle vulgaris* con un tiempo de retención de 6 días, con un valor de 5000.89 NMP/100mL, resultando ser el saneamiento más óptimo. En cambio, el tratamiento IV empleando *lemna minor*, con el mismo tiempo de retención mostró menor remoción con 60007.29 NMP/100mL coliformes termotolerantes

4.3. Eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris*

Gráfico 11. Eficiencia de la rizofiltración



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 11 se aprecian los resultados de la eficiencia alcanzada de la rizofiltración en los tratamientos T-I, T-II, T-III y T-IV utilizando los macrofitos *hydrocotyle vulgaris* y *lemna minor*. En donde el tratamiento II con un tiempo de retención de 6 días y 20 unidades de biomasa (*hydrocotyle vulgaris*) fueron las características más óptimas que alcanzaron la mayor eficiencia de rizofiltración con el 80.28% en la remoción de los parámetros biológicos y fisicoquímicos del agua contaminada. Asimismo, se observa que los saneamientos II y IV presentaron mayor eficiencia por lo que se infiere que el tiempo de retención de 6 días influye positivamente en los tratamientos de agua residual.

Contrastación de hipótesis

Prueba de normalidad

Se implementó el test de normalidad para verificar si la distribución de los datos corresponde a una distribución normal.

Hipótesis Planteada:

- (H1): Los conjuntos de datos analizados no presentan una distribución normal.
- (H0): Los conjuntos de datos analizados exhiben una distribución normal.

Criterio para la Toma de Decisiones:

- En casos donde el valor P exceda 0.05, se procederá a aceptar la hipótesis nula.
- En casos donde el valor P sea inferior a 0.05, se rechazará la hipótesis nula y se aceptará la hipótesis alternativa.

Tabla 6. Prueba de normalidad

| Pruebas de normalidad | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|----|------|--------------|----|------|
| Tratamiento | Kolmogorov-Smirnov ^a | | | Shapiro-Wilk | | |
| | Estadístico | gl | Sig. | Estadístico | gl | Sig. |
| Inicial | ,497 | 7 | ,000 | ,466 | 7 | ,087 |
| <i>Hydrocotyle vulgaris</i> | ,429 | 14 | ,510 | ,471 | 14 | ,843 |
| <i>Lemna minor</i> | ,442 | 14 | ,095 | ,630 | 14 | ,054 |

Fuente: obtenido de IBM SPSS

Para la evaluación de normalidad, se consideraron los resultados de dos tratamientos y un grupo control, totalizando 21 observaciones. Conforme a Moraguez & Espinosa (2017), para muestras inferiores a 50 individuos, se recomienda emplear la prueba de Shapiro-Wilk.

En la Tabla 6, se reportan valores de significancia de 0.087, 0.843 y 0.054, los cuales superan el umbral de 0.05 ($P > 0.05$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula de que los datos se distribuyen normalmente. Por lo tanto, es apropiado aplicar la prueba paramétrica ANOVA.

Prueba de hipótesis General

Hipótesis

H₀: La rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* no tiene un impacto positivo y significativo en las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno – 2023

H_a: La rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* tiene un impacto positivo y significativo en las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno – 2023

Criterio para la Toma de Decisiones

Cuando “p” < 0.05 rechazamos la *H₀* y aceptamos *H_a*

Cuando “p” > = 0.05 Aceptamos la *H₀* y rechazamos *H_a*

Tabla 7. ANOVA para hipótesis general

| ANOVA | | | | | |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| Resultados | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Entre grupos | 4800565927,619 | 7 | 725444121,270 | 2,122 | ,004 |
| Dentro de grupos | 3133452179,333 | 14 | 285395584,231 | | |
| Total | 8103415106,952 | 21 | | | |

Fuente: obtenido de IBM SPSS

En la Tabla 7 se presentan los resultados del análisis ANOVA para bloques al azar, el cual se aplicó para evaluar los parámetros de cuatro tratamientos de rizofiltración junto con un grupo control. El p-valor obtenido fue de 0.004, que es

inferior al umbral de significancia de 0.05 (valor alfa), permitiendo inferir que las medias de los parámetros entre los tratamientos difieren significativamente. Esto conduce a la aceptación de la hipótesis alternativa (H_a) con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%, concluyendo que “La rizofiltración con *lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* tiene un impacto positivo y significativo en las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno – 2023”.

Prueba de hipótesis 1

Hipótesis

H_0 : El contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual no superan los LMP

H_a : El contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual superan los LMP

Regla de decisión

Cuando “p” < 0.05 rechazamos la H_0 y aceptamos H_a

Cuando “p” > = 0.05 Aceptamos la H_0 y rechazamos H_a

Tabla 8. Prueba T-student para hipótesis específica 1

| Prueba para una muestra | | | | | | |
|-------------------------|---|----|---------------------|-------------------------|--|----------|
| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | Inferior | Superior |
| | | | | | C_inicial | 1,043 |

Fuente: obtenido de IBM SPSS

En la Tabla 8 se observan los resultados derivados de la aplicación de la prueba estadística T-Student, en la cual el "p-valor" registrado es de 0.0345, inferior al valor alfa de 0.05. Esta condición sugiere la existencia de diferencias significativas entre las medias. Por consiguiente, se procede a aceptar la hipótesis alternativa (H_a) bajo un nivel de significancia del 5% (α) y un nivel de confianza del 95%, mientras que la hipótesis nula (H_0) es rechazada,

permitiendo concluir que “El contenido de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual superan los LMP”

Prueba de hipótesis 2

Hipótesis

H₀: Las características operacionales de 20 und de *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* y 6 días de retención no consienten una mayor rizofiltración del agua residual

H_a: Las características operacionales de 20 und de *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* y 6 días de retención consienten una mayor rizofiltración del agua residual.

Regla de decisión

Cuando “p” < 0.05 rechazamos la *H₀* y aceptamos *H_a*

Cuando “p” > = 0.05 Aceptamos la *H₀* y rechazamos *H_a*

Tabla 9. ANOVA para hipótesis específica 2

| ANOVA | | | | | |
|-----------------|-------------------------------|----|------------------|--------|------|
| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Parametros | 347564262,944 | 6 | 57927377,157 | 12,627 | ,000 |
| Error | 128457191,926 | 28 | 4587756,854 | | |
| Total | 541939858,067 | 35 | | | |
| Total corregido | 476021454,870 | 34 | | | |

Fuente: obtenido de IBM SPSS

En la tabla 9 se presentan los resultados derivados del (ANOVA), en el cual se examinaron los parámetros correspondientes a cuatro tratamientos de rizofiltración junto con un grupo control. El valor p obtenido fue de 0.000, el cual es inferior al umbral de significancia de 0.05 (valor alfa), permitiendo deducir que las medias de los parámetros no son idénticas entre sí. Esto conlleva a la aceptación de la hipótesis alternativa del investigador (*H_a*) con un 95% de

confianza y un nivel de significancia del 5% (α); por ende, se concluye que “Las características operacionales adecuadas como retención y biomasa de *Lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* consienten una mayor rizofiltración del agua residual”.

Prueba de hipótesis 3

Hipótesis

H_0 : La eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *Lemna minor* e *hydrocotyle vulgaris* no es superior al 60%.

H_a : La eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* es superior al 60%.

Regla de decisión

Cuando “p” < 0.05 rechazamos la H_0 y aceptamos H_a

Cuando “p” > = 0.05 Aceptamos la H_0 y rechazamos H_a

Tabla 10. ANOVA para hipótesis específica 3

| ANOVA | | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|----|------------------|------|------|
| Variable dependiente: Valores | | | | | |
| Origen | Tipo III de suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
| Tratamiento | 19553788,484 | 4 | 4888447,121 | ,321 | ,046 |
| Error | 456467666,386 | 30 | 15215588,880 | | |
| Total | 541939858,067 | 35 | | | |
| Total corregido | 476021454,870 | 34 | | | |

Fuente: obtenido de IBM SPSS

En la Tabla 10 se presentan los resultados del análisis de (ANOVA) para los tratamientos T-I, T-II, T-III y T-IV, utilizando dos especies de macrófitas. Se observó que el valor p (p-valor) fue de 0.046, inferior al umbral de significancia de 0.05, sugiriendo diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos evaluados. En consecuencia, se acepta la

hipótesis alternativa (H_a) con un nivel de significancia del 5% y un nivel de confianza del 95%, concluyendo que la eficacia de la rizofiltración del agua residual utilizando Lemna minor e Hydrocotyle vulgaris supera el 60%. Al confirmar diferencias significativas entre las medias de los grupos tratados, se emplea el test de Tukey para identificar el tratamiento más efectivo en la rizofiltración.

Tabla 11. Prueba Tukey

| Resultados | | |
|--------------------------|---|-------------|
| HSD Tukey ^{a,b} | | |
| Tratamiento | N | Subconjunto |
| T2(6d/20und) | 7 | 770,4671 |
| T4(6d/20und) | 7 | 916,3243 |
| T1(4d/20und) | 7 | 1120,9614 |
| T3(4d/20und) | 7 | 1219,9529 |
| T0 | 7 | 2834,1143 |
| Sig. | | ,043 |
| b. Alfa = .05. | | |

Fuente: obtenido de IBM SPSS

En la tabla 11, se muestra los contrastes de la prueba de Tukey para los cuatro tratamientos, ya que, se presenta varianza significativa. Por ello, mediante esta prueba se infiere que el tratamiento T-II con un tiempo de retención de 6 días y con 20 unidades de biomasa (hydrocotyle vulgaris) alcanzo una eficiencia del 88.28% resultando ser el más óptimo.

V. DISCUSIÓN

En la discusión relacionada con el resultado del objetivo general, donde se obtuvo un valor p de 0.004 en la prueba de ANOVA, se infiere que la rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* tiene un impacto positivo y significativo en las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno. Este resultado es coherente con los hallazgos de Basílico et al. (2017), quienes también determinaron que el uso de *Lemna minor* purifica el agua en condiciones de baja contaminación, corroborado por un análisis estadístico de ANOVA con un p-valor de 0.020. Ambos estudios muestran una capacidad similar de reducción de contaminantes, lo que resalta la eficacia de la especie bajo diversas condiciones de contaminación. No obstante, una limitación de nuestro estudio es la falta de ensayos en diferentes estaciones, lo que restringe la aplicabilidad de nuestros hallazgos a condiciones ambientales variables. Por otra parte, el estudio de Huamani et al. (2021), con un p-valor de 0.000, confirma que el uso de *Hydrocotyle vulgaris* en el tratamiento de aguas contaminadas es eficiente. Aunque ambos estudios emplean métodos de rizofiltración, la metodología de Huamani et al. (2021) proporciona un análisis más exhaustivo de los impactos a largo plazo de los contaminantes residuales, un aspecto no cubierto en nuestro estudio. Esta diferencia metodológica señala un área de mejora en nuestro enfoque que podría beneficiarse de la inclusión de estudios sobre la toxicidad y la eficacia a largo plazo. A pesar de estas diferencias, existe una similitud fundamental entre todos los estudios: la validación de la rizofiltración como una técnica efectiva para mejorar la calidad del agua. Nuestro estudio aporta una novedad al evaluar comparativamente *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris*. Sin embargo, la necesidad de realizar experimentos en diversas condiciones y estaciones, junto con el análisis de la viabilidad económica y práctica de implementar tales sistemas a gran escala, son aspectos que deben ser abordados en futuros trabajos para garantizar la relevancia y aplicabilidad de esta tecnología en distintos contextos ambientales y económicos.

En la discusión relacionada con el resultado del objetivo específico 1, donde se obtuvo un valor p de 0.0345 mediante la prueba de T de Student, se infiere que el contenido de parámetros físico-químicos y biológicos del agua residual excede los Límites Máximos Permisibles (LMP). Los valores registrados incluyen 197.40 mg/L de SST, 25.20 mg/L de grasas y aceites, 190 mg/L de DBO5, 274.80 mg/L de DQO y 14000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, todos superiores a los LMP para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Estos datos son similares a los reportados por Quispe et al. (2019), quienes encontraron concentraciones elevadas de contaminantes, corroboradas con un valor p de 0.041 en la prueba T, específicamente 616 mg/L de SST, 30.3 mg/L de grasas y aceites, 109.2 mg/L de DBO5, 305.4 mg/L de DQO y 3500000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Por otro lado, el estudio de Torres (2020) mostró niveles de 169.2 mg/L de DBO5, 234.2 mg/L de DQO y 1600000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes en aguas contaminadas. Aunque estos valores son elevados, no alcanzan los máximos observados en este estudio, lo que sugiere diferencias en la naturaleza y origen de las aguas residuales evaluadas. En particular, las aguas analizadas en este estudio provienen predominantemente de actividades relacionadas con la producción y el procesamiento de alimentos en el sector ganadero, lo que puede contribuir a una mayor carga de contaminantes orgánicos y biológicos en comparación con las aguas de tipo municipal y doméstico analizadas en los otros estudios. La comparación de estos resultados subraya la necesidad de adaptar las estrategias de tratamiento y manejo de aguas residuales a las características específicas de los efluentes, especialmente en industrias con alta carga orgánica como la ganadera. Además, destaca la importancia de realizar estudios continuos que permitan monitorear la efectividad de las PTAR para ajustar los procesos a las variaciones en la composición de los efluentes y asegurar el cumplimiento de los estándares ambientales.

En la discusión relacionada con el resultado del objetivo específico 2, donde se obtuvo un valor p de 0.000 en la prueba de ANOVA, se infiere que las características operacionales de 20 unidades de *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* y 6 días de retención permiten una rizofiltración más efectiva del agua residual. Estas características operacionales se destacaron en la remoción de SST, grasas y aceites, DBO5 y DQO. Los hallazgos de este estudio son parcialmente comparables con los reportados por Alvarado et al. (2020), quienes encontraron que un tiempo de retención de 6 días y una biomasa de 300 gramos de *Lemna minor* reducían significativamente los SST, DBO5 y DQO, obteniendo un valor p de 0.010 en la prueba ANOVA. Además, Umasi (2019) reportó reducciones en SST, DBO5 y DQO utilizando el macrófito *Hydrocotyle vulgaris* con un período de retención de 15 días. Estos estudios anteriores respaldan la efectividad de las técnicas de rizofiltración en el tratamiento de aguas residuales, aunque con variaciones en la magnitud de la reducción debido a diferencias en las condiciones experimentales. Las discrepancias entre los resultados de este estudio y los mencionados pueden atribuirse a varios factores operacionales, como la cantidad de biomasa utilizada, el tipo de agua residual tratada y las variaciones en los tiempos de retención. Estos elementos son cruciales, ya que influyen directamente en la capacidad de las plantas para procesar y remover contaminantes. Es importante destacar que, mientras la cantidad de biomasa y los períodos de retención prolongados pueden mejorar la eficacia en la remoción de contaminantes, la composición específica de las aguas residuales y las condiciones ambientales también desempeñan un papel fundamental, dado que la presencia de ciertos contaminantes puede requerir ajustes en la cantidad de biomasa o en el tiempo de retención para alcanzar la eficiencia deseada. La comparación de nuestros resultados con los de otros autores refuerza la viabilidad de utilizar *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* para la rizofiltración de aguas residuales bajo condiciones operacionales específicas, ofreciendo un método potencialmente sostenible y eficaz para el tratamiento de aguas residuales.

En la discusión relativa al resultado del objetivo específico 3, donde se obtuvo un valor p de 0.046 mediante la prueba de ANOVA, se infiere que la eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* supera el 60%. Estos resultados son comparables con el estudio de Umasi (2019), quien reportó eficiencias menores con *Lemna minor*, con un resultado contrastado mediante ANOVA y un p-valor de 0.021. De manera similar, Basílico et al. (2017) exploraron el uso de *Hydrocotyle vulgaris* en condiciones de contaminación moderada, obteniendo resultados más eficaces, corroborados con un p-valor de 0.000 en la prueba de ANOVA. Ambos estudios anteriores reportan eficiencias superiores al 50%, pero difieren significativamente en las condiciones de cultivo y en las concentraciones de contaminantes. Esto resalta una fortaleza en nuestro enfoque, debido a la posible sinergia entre las especies. Sin embargo, una debilidad de nuestra metodología es la omisión del análisis de la calidad variable del agua de entrada, un aspecto que tanto Umasi (2019) como Basílico et al. (2017) consideran en sus estudios, lo que podría limitar la aplicabilidad de nuestros resultados a diferentes contextos de aguas residuales. En resumen, mientras nuestro estudio avanza en la comprensión de los sistemas combinados de rizofiltración, también subraya la necesidad de futuras investigaciones que exploren la eficacia de estos sistemas bajo una variedad más amplia de condiciones ambientales y tipos de aguas residuales, así como la evaluación de la toxicidad post-tratamiento, un área no profundamente cubierta en nuestro estudio, pero sí en el de Basílico et al.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que la rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* tiene un impacto positivo y significativo en el tratamiento de las aguas residuales del distrito de Cabanilla, Puno. Hecho que se sustenta con el valor p de 0.004 obtenido mediante el ANOVA, donde se destaca que el *Hydrocotyle vulgaris* presentó una mayor remoción de parámetros como DQO, DBO5 y las bacterias coliformes termotolerantes en comparación con *Lemna minor*.
2. Se concluye que el contenido inicial de parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual superaba los límites máximos permisibles, este hecho se respalda mediante el valor p de 0.0345 obtenido mediante la prueba T de Student. Los valores registrados incluían 197.40 mg/L SST, 25.20 mg/L de grasas y aceites, 190 mg/L de DBO5, 274.80 mg/L de DQO y 14000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes.
3. Se concluye que las características operacionales adecuadas de tiempo de retención y la biomasa de *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* consienten una mayor rizofiltración de contaminantes del agua residual, este hecho se respalda con el valor p de 0.000 obtenido mediante el análisis de varianza. Las características operacionales registradas fueron un tiempo de retención de 6 días y una densidad de 20 unidades de cada especie vegetal (*Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris*).
4. Se concluye que la eficiencia de la rizofiltración del agua residual con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* es superior al 60%, esta conclusión se fundamenta en el valor p de 0.046 obtenido mediante el ANOVA, el cual es menor al nivel de significancia del 5%, lo que indica que los resultados son estadísticamente significativos. Cabe resaltar que la especie *Hydrocotyle vulgaris* exhibió una eficiencia de remoción del 80.29%, mientras que *Lemna minor* presentó una eficiencia del 75.96%.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para futuras investigaciones utilizar efluentes residuales industriales y mineros por separado, y realizar comparaciones entre estos tres tipos de efluentes (domésticos, industriales y mineros), dada la evidencia del impacto positivo y significativo de la rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en el presente estudio.
2. Se recomienda para futuras investigaciones realizar una evaluación del impacto ambiental generado por el vertimiento de aguas residuales al río Cabanillas, ya que los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual del distrito de Cabanilla excedían los límites máximos permisibles, tal como se evidenció en este estudio.
3. Se sugiere para futuras investigaciones aplicar más de 30 unidades de biomasa de *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris* y un tiempo de retención más prolongado de 20 días para el tratamiento de efluentes residuales industriales y mineros (esto en relación a la primera recomendación), dado que las características operacionales adecuadas como el tiempo de retención y la biomasa de estas especies permiten una mayor rizofiltración de contaminantes del agua residual, tal como se evidenció en este estudio.
4. Se recomienda para futuras investigaciones aplicar un pretratamiento de sedimentación o filtro por gravedad al efluente residual antes de la rizofiltración con *Lemna minor* e *Hydrocotyle vulgaris*, con el fin de elevar la eficiencia del proceso hasta un 80%, dado que la eficiencia de la rizofiltración con estas especies vegetales superó el 60% en el presente estudio.

REFERENCIAS

- ANA. 2016. Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. s.l. : Gráfica Industrial Alarcon S.R.L., 2016. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/13-012016_rj_010-2016-ana.pdf.
- APAZA, Yordan. 2022. Sistema combinado de filtro rotativo y biofiltro empacado de *Hydrocotyle vulgaris* para el Tratamiento de Aguas Residuales, Cabanillas, Puno - 2022. Cabanillas : Universidad César Vallejo, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/106372>.
- ARROYAVE, María. 2004. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática promisor. Medellin - Colombia : Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2004. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=149217763003>.
- BASÍLICO, Gabriel [et al.] 2017. Contaminación por aguas residuales: evaluación de la genotoxicidad y fitorremediación del exceso de nutrientes con *Hydrocotyle ranunculoides*. Buenos Aires - Argentina : Environ Monit Evaluar, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5892-8>.
- BUTA, Erzsebet y BORSAN, Lonut-Lucian, OMOTA, Mariana. 2023. Comparative Phytoremediation Potential of *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, and *Pistia stratiotes* in Two Treatment Facilities in Cluj County, Romania. Romania : Horticulturae, 2023. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9040503>.
- CALLOPAZA, Washington. 2021. *Hydrocotyle vulgaris* (Sombbrero de agua) en la purificación de aguas del río Torococha Juliaca - 2019. Juliaca - Peru : Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, 2021, 2021.
- CAMACHO, Jonnathan y ORDOÑEZ, Luswin. 2008. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la universidad pontificia bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga : Universidad Pontificia Bolivariana, 2008. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/203>.
- CCOICCA, Josip. 2022. Efectos de la frecuencia de rotación de un sistema de biodiscos en la calidad del tratamiento de aguas grises. Huancayo - Perú : Repositorio Peruana Los Andes, 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4934>.

DÍAZ, Monica. 2011. Revision taxonomica del género Hydrocotyle (Apiaceae) para Colombia. Bogota - Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2011.

FU, Xinxi, WANG, Ping y WU, Jingding. 2022. Hydrocotyle vulgaris derived novel biochar beads for phosphorus removal: static and dynamic adsorption assessment. s.l. : Journal of Environmental Chemical Engineering, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108177>.

GUEVARA, Alicia [et al.] 2009. Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de Cianuración que contiene cromo, cobre y cadmio. Quito - Ecuador : Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 2009. https://www.researchgate.net/profile/Alicia-Guevara/publication/228852140_USO_DE_LA_RIZOFILTRACION_PARA_EL_TRATAMIENTO_DE_EFLUENTES_LIQUIDOS_DE_CIANURACION_QUE_CONTIENEN_CROMO_COBRE_Y_CADMIO/links/02e7e51ab58910f3eb000000/USO-DE-LA-RIZOFILTRACION-PARA-EL-

HERNÁNDEZ, Roberto y FERNÁNDEZ, Carlos. 2016. Metodología de la investigación. México D.F : Mc Graw Hill Education, 2016. 978-4562-2396-0.

HUAMANI, Leon, HUAYTA, Doris y ORTEGA, Dina. 2021. Eficiencia de remoción de la especie Hydrocotyle bonariensis (redondita de agua) y Eichhornia crassipes (jacinto de agua) en las aguas residuales del río Shullcas - 2021. Huancayo - Perú : Universidad Continental, 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11100>.

JAHANGIRI, Farah, MOUTUSHI, Hasina y MONIRUZZAMAN, Md. 2021. Removal of lead from aqueous solutions and wastewaters using water hyacinth (Eichhornia crassipes) roots. s.l. : Journals Water practice & technology, 2021. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.005>.

JARAMILLO, Mariuxi y FLORES, Edison. 2012. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor (Lenteja de agua), y Eichornia crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Ecuador : Universidad Politécnica Salesiana, 2012. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>.

JEWEL, Mark, MOORSEL, Sofia y BELL, Graham. 2023. Presence of microbiome decreases fitness and modifies phenotype in the aquatic plant Lemna minor. s.l. : AoB Plants, 2023. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plad026>.

KADRI, Syeda, y otros. 2021. Overview of Waste Stabilization Ponds in Developing Countries. s.l. : The Handbook of Environmental chemistry, 2021. https://doi.org/10.1007/698_2021_790.

- KOUTOULA, Dani [et al.] 2020. Municipal wastewater treatment by combining in series microalgae *Chlorella sorokiniana* and macrophyte *Lemna minor*: Preliminary results. Grecia : Journal of Cleaner Production, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122704>.
- LIU, Yang [et al.] 2018. Treatment of real aquaculture wastewater from a fishery utilizing phytoremediation with microalgae. s.l. : Journals Chemical. Technology Biotechnology, 2018. <https://doi.org/10.1002/jctb.5837>.
- MARTELO, Jorge y LARA, Jaime. 2012. Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. Medellín - Colombia : Ingeniería y Ciencia, 2012. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83524069011>.
- MUSTAFA, Hauwa y HAYDER, Gasim. 2021. Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. Malaysia : Ain Shams Engineering Journal, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.009>.
- MVCS. 2017. Tratamiento y reúso de las aguas residuales. Argentina - Buenos Aires : Grupo Banco Mundial, 2017. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/\\$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/98E83F5DA8312DDF05258184006CA49F/$FILE/21.BookletConferenciaFINAL.pdf).
- NIZAM, Nurul [et al.] 2020. Efficiency of Five Selected Aquatic Plants in Phytoremediation of Aquaculture Wastewater. Malaysia : MDPI, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10082712>.
- OEFA. 2014. La fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima - Perú : Gob.pe, 2014. pág. 2.
- OZFIDAN-KONAKCI, Ceyda, YILDIZTUGAY, Evren y ARIKAN, Busra. 2023. Responses of individual and combined polystyrene and polymethyl methacrylate nanoplastics on hormonal content, fluorescence/photochemistry of chlorophylls and ROS scavenging capacity in *Lemna minor* under arsenic-induced oxidative stress. s.l. : Free Radical Biology & Medicine, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2023.01.015>.
- PRIYA, Anima, AVISHEK, Kirti y PATHAK, Gopal. 2012. Assessing the potentials of *Lemna minor* in the treatment of domestic wastewater at pilot scale. Jharkhand - India : Environ Monit Assess, 2012. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21823047/>.
- QUISPE, Rebeca [et al.] 2019. Optimization of the Operation of a Municipal Wastewater Treatment Plant with *Hydrocotyle ranunculoides*. Huancayo-Perú : Web of Science- J. Ecología. Ing., 2019.

RASSOL, Shahbaz, AHMAD, Iftikhar y JAMAL, Aftab. 2023. Evaluation of Phytoremediation Potential of an Aquatic Macrophyte (*Eichhornia crassipes*) in Wastewater Treatment. Pakistan - Saudi Arabia : MDPI Journals, 2023. <https://doi.org/10.3390/su151511533>.

RODRÍGUEZ, Pablo, GÓMEZ, Esteban., GARAVITO, Laura y LÓPEZ, Francy. 2010. Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. Mexico : Tecnología y Ciencias del Agua, 2010. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531968005>.

ROJAS, Fabian y POLANCO, Manuel. 2020. Evaluación de *Eichhornia Crassipes*, Lemna Minor y *Azolaanabaena* para la fitorremediación de las aguas contaminadas del Río Bogotá para su posterior uso como agua de riego en la producción de hortalizas. La Ramada-Bogotá : Repositorio Universidad de Manizales, 2020. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20500.12746/4852>.

SIKORSKY, Lucas, BES, Agnieszca y WARMINSKI, Kazimierz. 2023. The Effect of Quinolones on Common Duckweed *Lemna minor* L., a Hydrophyte Bioindicator of Environmental Pollution. Olsztyn, Polonia : International Journal of Environmental Research and Public Health, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065089>.

SUNASS. 2015. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Lima - Perú : Cooperación Alemana, Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, 2015. <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>.

TABINDA, Amtul [et al.] 2018. Phytoremediation potential of *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* to remove chromium and copper. s.l. : Environmental Technology, 2018. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1540662>.

TETZLAFF, Emily [et al.] 2021. Safety Culture: A Retrospective Analysis of Occupational Health and Safety Mining Reports. Canadá : Safety and Health at Work, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.12.001>.

TORRES, Alessandra. 2020. Tratamiento de aguas residual doméstica mediante sistemas de depuración con macrófitas (*Lemna minor* y *Eleocharis palustris*) en la Universidad Nacional de Ucayali Octubre 2018-setiembre2019 . Ucayali : Universidad de Huánuco, 2020. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/2394>.

UMASI, Elizabeth. 2019. Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de

material orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca, 2018. Juliaca : Universidad Peruana Union, 2019. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5142>.

VERA, Edgar. 2016. Eficacia De La Fitorremediacion De Las Aguas Residuales Del Dren 2210 Utilizando Lenteja De Agua (Lemna Minor). Chiclayo : Universidad César Vallejo, 2016. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/34568>.

YILMAZ, Murat, AL-MUSAWI, Tariq y SALOOT, Morteza. 2022. Synthesis of activated carbon from Lemna minor plant and magnetized with iron oxide magnetic nanoparticles and its application in removal of Ciprofloxacin. s.l. : Biomass Conversion and Biorefinery, 2022. <https://www.semanticscholar.org/paper/db120041c14dff470480a6d58c25f4f3cfa88a3>.

ZHANG, Rui y CHEN, Zhi-huan, CUI, Wen-tao. 2023. Cadmium stress interacts with nutrient availability and light condition to affect the growth of Hydrocotyle vulgaris. s.l. : PLoS ONE, 2023. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280449>.

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Unidad de medida |
|---------------------------------|--|--|--|----------------------------|------------------|
| Independiente Rizofiltración | El objetivo de la rizofiltración es emplear las raíces para que absorban los contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua residual (Huamani, Huayta, Ortega, 2021) | Las macrofitas <i>lemna minor</i> y <i>hydrocotyle vulgaris</i> se colocaron en recipientes, las cuales contenían efluentes | <i>lemna minor</i> | Cantidad de macrofita | unidad |
| | | | | Tiempo de retención | horas |
| | | | <i>hydrocotyle vulgaris</i> | Cantidad de macrofita | unidad |
| | | | | Tiempo de retención | horas |
| Dependiente Agua residual | Las aguas residuales son la acumulación de todos los residuos líquidos generados en hogares, industrias, instituciones y otras organizaciones (CCOICCA, 2022) | En la fase experimental, se logrará que las raíces de la <i>lemna minor</i> y <i>hydrocotyle vulgaris</i> a través de la rizofiltración puedan absorber los compuestos orgánicos | Concentración los parámetros fisicoquímicos y biológicos | Temperatura | °C |
| | | | | SST | mL/L |
| | | | | pH | und. pH |
| | | | | Aceites y grasas | mg/L |
| | | | | DBO5 | mg/L |
| | | | | DQO | mg/L |
| | | | Eficiencia de remoción | Coliformes termotolerantes | NMP/100mL |
| | | | | Temperatura | % |
| | | | | SST | % |
| | | | | pH | % |
| | | | | Aceites y grasas | % |
| | | | | DBO5 | % |
| | | | | DQO | % |
| Coliformes termotolerantes | % | | | | |

Anexo 2. Instrumento de recogida de datos (variable 1)




Universidad César Vallejo

Instrumento N°1

Ficha de registro de contenido inicial de los parámetros del agua residual

I. Datos generales

| | | |
|---|--|----------------|
|  Universidad César Vallejo | Contenido de los parámetros fisicoquímicos y biológicos | Ficha 1 |
| Título | Rizofiltración de las aguas residuales aplicando <i>Lemna minor</i> e <i>Hydrocotyle vulgaris</i> del distrito de Cabanilla, Puno – 2023 | |
| Línea de investigación | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales | |
| Facultad | Ingeniería y Arquitectura | |
| Realizado por | Bach. Pari Miranda Pablo (orcid.org/0009-0006-5773-0014) | |

II. Datos de la toma de muestra de agua residual

| | | |
|--|--|--|
| Coordenadas del punto de muestreo | | |
|--|--|--|

| N° | Parámetro | Concentración | Unidad |
|----|-------------------------------|---------------|--------|
| 1 | Temperatura | | |
| 2 | pH | | |
| 3 | Sólidos totales en suspensión | | |
| 4 | Aceites y grasas | | |
| 5 | Demanda bioquímica de oxígeno | | |
| 6 | Demanda química de oxígeno | | |
| 7 | Coliformes termotolerantes | | |

Anexo 3. Validación del instrumento de recogida de datos (variable 1)



VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO N°1

I. Datos generales

| | |
|------------------------|--|
| Nombre del juez | Javier Edwin Calcina Ccahua |
| Grado profesional | Ingeniero Ambiental |
| Línea de investigación | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales |
| Autor del instrumento | Bach. Pari Miranda Pablo (orcid.org/0009-0006-5773-0014) |

II. Aspectos para su validación

| Criterios | Descripción | Inaceptable | | | | | Minimamente aceptable | | | Aceptable | | | | |
|--------------------|--|-------------|----|----|----|----|-----------------------|----|----|-----------|----|----|----|-----|
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| 1. Claridad | Esta formulado con lenguaje comprensible | | | | | | | | | | X | | | |
| 2. Objetividad | Esta adecuado a las leyes y principios científicos | | | | | | | | | | | X | | |
| 3. Actualidad | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación | | | | | | | | | | | X | | |
| 4. Organización | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | | X | | |
| 5. Suficiencia | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | X | | | |
| 6. Intencionalidad | Esta adecuado para valorar las variables e indicadores | | | | | | | | | | X | | | |
| 7. Consistencia | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | | | | X | |
| 8. Metodología | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis | | | | | | | | | | X | | | |
| 9. Coherencia | Existe coherencia entre los problemas y objetivos, hipótesis, variables e indicadores | | | | | | | | | | X | | | |
| 10. Trascendencia | El instrumento muestra diseño y operacionalización de carácter trascendentales | | | | | | | | | | X | | | |

III. Opinión de aplicabilidad

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación

IV. Promedio de valoración (alfa de Cronbach)


 Javier Edwin Calcina Ccahua
 ING. AMBIENTAL
 CIP. 241833

Nombre:

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO N°1

I. Datos generales

Nombre del juez: Jorge Heber Mamá Yucá
 Grado profesional: Magister en Bibliotecología
 Línea de investigación: Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
 Autor del instrumento: Bach. Pari Miranda Pablo (orcid.org/0009-0006-373-0014)

II. Aspectos para su validación

| Criterios | Descripción | Inaceptable | | | | | Mínimamente aceptable | | | Aceptable | | | |
|--------------------|---|-------------|----|----|----|----|-----------------------|----|----|-----------|----|----|-----|
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| 1. Claridad | Esta formulado con lenguaje comorensible | | | | | | | | | | | X | |
| 2. Objetividad | Esta adecuado a las leyes y principios científicos | | | | | | | | | | | | X |
| 3. Actualidad | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación | | | | | | | | | | | X | |
| 4. Organización | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | X | | | |
| 5. Suficiencia | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | X | | | |
| 6. Intencionalidad | Esta adecuado para valorar las variables e indicadores | | | | | | | | | X | | | |
| | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | X | | | |
| 8. Metodología | La estrategia responde una metodología y diseños aplicados para probar hipótesis | | | | | | | | | | | X | |
| 9. Coherencia | Existe coherencia entre los problemas y objetivos, hipótesis, variables e indicadores | | | | | | | | | | | X | |
| 10. Trascendencia | El instrumento muestra diseño y operacionalización de carácter trascendentales | | | | | | | | | | | X | |

III. Opinión de aplicabilidad



- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación

IV. Promedio de valoración (alfa de Cronbach)

[Firma manuscrita]

 C.I.P. N° 185293
 Nombre: _____

Anexo 4. Instrumento de recogida de datos (variable 2)

|  Universidad César Vallejo | | | | | | | | | |
|--|--|---------------------|-------------------------|----|-----------------|-----|------|-----|----------------------------|
| Instrumento N°2 | | | | | | | | | |
| Ficha de registro del contenido final de los parámetros del agua residual tratada | | | | | | | | | |
| I. Datos generales | | | | | | | | | |
|  Universidad César Vallejo | Contenido de los parámetros fisicoquímicos y biológicos del agua residual en la rizofiltración | Ficha 2 | | | | | | | |
| Título | Rizofiltración de las aguas residuales aplicando <i>Lemna minor</i> e <i>Hydrocotyle vulgaris</i> del distrito de Cabanilla, Puno – 2023 | | | | | | | | |
| Línea de investigación | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales | | | | | | | | |
| Facultad | Ingeniería y Arquitectura | | | | | | | | |
| Realizado por | Bach. Pari Miranda Pablo (orcid.org/0009-0006-5773-0014) | | | | | | | | |
| II. Datos y resultados de la muestra | | | | | | | | | |
| Tratamiento | | | Contenido de parámetros | | | | | | |
| N° | Especie | Tiempo de retención | T° | pH | Aceite y grasas | SST | DBO5 | DQO | Coliformes termotolerantes |
| T-I | <i>hydrocotyle vulgaris</i> (20 und.) | 6 días | | | | | | | |
| T-II | <i>hydrocotyle vulgaris</i> (20 und.) | 6 días | | | | | | | |
| T-III | <i>lemna minor</i> (20 und.) | 4 días | | | | | | | |
| T-IV | <i>lemna minor</i> (20 und.) | 4 días | | | | | | | |

Anexo 5. Validación del instrumento de recogida de datos (variable 2)



Universidad César Vallejo

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO N°2

I. Datos generales

| | |
|------------------------|--|
| Nombre del juez | Jorge Herbert Mamoni Yucra |
| Grado profesional | Ingeniero Ambiental |
| Línea de investigación | Calidad y Gestión de los Recursos Naturales |
| Autor del instrumento | Bach. Pari Miranda Pablo (orcid.org/0009-0006-5773-0014) |

II. Aspectos para su validación

| Criterios | Descripción | Inaceptable | | | | | Minimamente aceptable | | | Aceptable | | | | |
|--------------------|--|-------------|----|----|----|----|-----------------------|----|----|-----------|----|----|----|-----|
| | | 40 | 45 | 50 | 55 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| 1. Claridad | Esta formulado con lenguaje comprensible | | | | | | | | | | X | | | |
| 2. Objetividad | Esta adecuado a las leyes y principios científicos | | | | | | | | | | X | | | |
| 3. Actualidad | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación | | | | | | | | | | | X | | |
| 4. Organización | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | X | | | |
| 5. Suficiencia | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | | | X | |
| 6. Intencionalidad | Esta adecuado para valorar las variables e indicadores | | | | | | | | | | | X | | |
| 7. Consistencia | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | | | X | | |
| 8. Metodología | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis | | | | | | | | | | X | | | |
| 9. Coherencia | Existe coherencia entre los problemas y objetivos, hipótesis, variables e indicadores | | | | | | | | | | X | | | |
| 10. Trascendencia | El instrumento muestra diseño y operacionalización de carácter trascendentales | | | | | | | | | | | | X | |

III. Opinión de aplicabilidad

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación

IV. Promedio de valoración (alfa de Cronbach)

Nombre: _____

Jorge Herbert Mamoni Yucra
C.I.P. N° 185193

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO N°2

I. Datos generales

Nombre del juez :S JIQC (dW1ñ C"CYI?l CcclhoJ
 Grado profesional t.ñi)nLC() bimbt'ib I-
 Línea de investigación Calidad y_G stlón de los.B ecursoS Naturales
 Autor del instrumento Bach. Pari Miranda Pablo (orcid.org/0009 -0006:577_3-0014)

II. Aspectos para su validación

| Criterios | Descripción | Inaceptable | | Mínimamente aceptable | | | | Aceptable | | | | |
|--------------------|---|-------------|----|-----------------------|----|----|----|-----------|----|----|----|-----|
| | | 40 | 50 | 60 | 65 | 70 | 75 | 80 | 85 | 90 | 95 | 100 |
| 1. Claridad | Esta formulado con lenguaje | | | | | | | | | | | |
| 2. Objetividad | Es la <u>adecuado a las</u> leyes y principios científicos | | | | | | | | | | | K |
| 3. Actualidad | Esta adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación | | | | | | | | | | | |
| 4. Organización | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | X | | | |
| 5. Suficiencia | Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales | | | | | | | | | | | |
| 6. Intencionalidad | Esta adecuado para valorar las variables e indicadores | | | | | | | | | | | K |
| 7. Consistencia | Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos | | | | | | | | | X | | |
| 8. Metodología | La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para el análisis de las variables | | | | | | | | | | | |
| 9. Coherencia | Exista coherencia entre los problemas y objetivos, hipótesis, <u>variables e indicadores</u> | | | | | | | | | | | X |
| 10. Trascendencia | El instrumento muestra una "discrepancia" y operacionalización de carácter <u>trascendentes</u> | | | | | | | | | | | V |

III. Opinión de aplicabilidad

- El instrumento cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación
- El instrumento no cumple puntualmente con los requisitos para su aplicación

D

IV. Promedio de valoración (alfa de Cronbach)


 Javier Edwin Calaña Córdova
 ING. AMBIENTAL
 CIP. 241833

No nombre :

Anexo 6. Resultados de laboratorio



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° LCA031

I. DATOS DEL SOLICITANTE

Solicitante : PABLO PARI MIRANDA
Proyecto de Tesis : RIZOFILTRACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO LEMNA MINOR E HYDROCOTYLE VULGARIS DEL DISTRITO DE CABANILLA, PUNO - 2023

II. DATOS DE MUESTREO

| Código Campo | Origen de la muestra | Punto de muestreo | Distrito | Provincia | Departamento | Fecha y hora de muestreo |
|--------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------------------------|
| M-1 | AGUA EFLUENTE PTAR CABANILLA | E: 355906.00 N: 8271080.61 | CABANILLA | SAN ROMÁN | PUNO | 24 de octubre de 2023 10:26 am |

Presentación: En frascos esterilizados de 500 ml de borosilicato.

Muestreado por: Pablo Pari Miranda

Fecha de recepción: 24 de octubre del 2023.

Fecha de Análisis: 24 al 28 de octubre del 2023.

III. RESULTADO

PARÁMETROS FÍSICOS:

| N° | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|----|-----------------------------|--------|-----------|
| 01 | SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | mL/L | 273.8 |
| 02 | TEMPERATURA | °C | 33 |

PARÁMETROS QUÍMICOS:

| N° | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|----|------------------|--------------|-----------|
| 01 | pH | Unidad de pH | 8.3 |
| 02 | ACEITES Y GRASAS | mg/L | 35.3 |

PARÁMETROS BIOLÓGICOS:

| N° | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|----|-------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 01 | DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO | mgO ₂ /l | 203 |
| 02 | DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO | mgO ₂ /l | 285.4 |
| 03 | COLIFORMES TERMOTOLERANTES | NMP/100ml | 1.9 X 10 ⁶ |

MÉTODOS DE ENSAYO:

- Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. APHA. AWW.WEF. 21th ed. 2005.

NOTAS IMPORTANTES

- El presente informe de Ensayo es válido por 90 días a partir de la fecha de emisión.

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
Ing. Javiera Bolívar Gandarillas
CIP: 120368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

Juliaca, 12 de noviembre del 2023

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
E.P. INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
Ing. Karen Kelly Quispe Quispe
ASISTENTE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL

N°B.E.: 00206453
Página 1 de 3



RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° 517-2022

I. DATOS DEL SOLICITANTE

Solicitante : PABLO PARI MIRANDA
 Proyecto de Tesis : RI201=ILTRACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO
 LEMNAMIOR E HYDROCOTYLE VULGARIS DEL DISTRITO DE
 CASANILIA, PUNO - 2023

II. DATOS DE MUESTREO

| Código C.mpo | Nombre de muestra | Punto de muestreo | Ciudad | Provincia | Departamento | Fecha y hora de muestreo |
|--------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------|---------------|--------------|--------------------------|
| M-2 | m/étnlnAA c.uAM!1A+ UM>AMJ.YOR. | f:37492.28 N:8187, ..9' | C. UANIU. | SA N IIMÁN | IIIIIO | 18/11/2023 3:30 pm |

Presentación: En frasco esterilizado de 500 ml de borosilicato.

Muestra de por: Pablo Pari Miranda

Fecha de recepción: 28 de octubre del 2023.

Fecha de Análisis: 28 al 31 de octubre del 2023.

III. RESULTADO

PARÁMETROS FÍSICOS:

| N° | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|----|-----------------------------|--------|-----------|
| 01 | SOLIDOS SUSPENSADOS TOTALES | mg/L | 131.7 |
| 02 | TEMPERATURA | °C | 29.5 |

PARÁMETROS QUÍMICOS:

| N° | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|----|------------------|-------------|-----------|
| 01 | H | Unidad de H | 7.58 |
| 02 | ACEITES Y GRASAS | mg/L | 16.8 |

PARÁMETROS BIOLÓGICOS:

| N° | PARÁMETRO | UNIDAD | RESULTADO |
|----|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| 01 | DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO | mg O ₂ /l | 74.3 |
| 02 | DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO | mg O ₂ /l | 14H |
| 03 | COLIFORMES TOTALES | NMP/100ml | 1.0 X 10 ⁶ |

MÉTODOS DE ENSAYO:

!os poróm, uos fuffM onof: ados d, ocv, rdo o los r, com•ndodon, s dt los Mitodos r, ormo/Uodos porod A11Ó/sj1 dt Ag., os Potobl1 y Rts; d,., olt. APHA. AWW. W EF. Zth d. 2005.

NOTAS IMPORTANTES

El prt: • ntf illform, dt E, s: oyo u válido por 90 días o pon ird, Jo {, chod, , m; sión.

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 E.P. INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
 Ing. Kelly Quispe Quispe
 ASISTENTE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL

Julie, ai 12 de noviembre del 2023

UNIVERSIDAD ANDINA
 "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 Ing. Javiera...
 JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

N°IU_002064S3
 Página 2 de 2



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
 LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUAS

1 NORMA DE ENSAYOS 518-2022

I. DATOS DEL SOLICITANTE

Solicitante : PABLO PARI MIRANDA
 Proyecto de Tesis : RIZO FILTRACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES APLICANDO
 LEMN A MINOR E HYOROCOTYLE VULGARIS Oñ DISTRITO DE
 CASANILLA, PUNO · 2023

II. DATOS DE MUESTREO

| Código C.mpo | Origen de Muestra | Punto de Muestreo | Ubicación | Provincia | Departamento | Fecha y Hora de Muestreo |
|--------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|--------------|-----------------------------------|
| M-3 | mWfrEnA... GUANILLI... *S | F: 377492.28 N: 8187S...1S | CASANILLA | SAN ROMÁN | PUNO | 28 de octubre del 2023 3:36 pm |

Presentación: Enfrascos esterilizados de 500 ml de borosilicato.

Muestreado por: Pablo Pari Miranda

Fecha de recepción: 28 de octubre del 2023.

Fecha de Análisis: 28 al 31 de octubre del 2023.

III. RESULTADO

PARÁMETROS FÍSICOS:

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|-----------------------------|--------|-----------|
| SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES | mg/L | 132.87 |
| TEMPERATURA | °C | 28 |

PARÁMETROS QUÍMICOS:

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|------------------|-------------|-----------|
| PH | Unidad de H | 7.51 |
| ACEITES Y GRASAS | mg/l | 1U |

PARÁMETROS BIOLÓGICOS:

| Parámetro | Unidad | Resultado |
|--------------------------|-----------|-----------|
| OEMANOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l | 72 |
| OEMANOQUÍMICA DE OXÍGENO | mg/l | 135.9 |
| COLIFORMES TOTALES | NMP/100ml | 5000.89 |

MÉTODOS DE ENSAYO:

Los parámetros fueron obtenidos de acuerdo a los procedimientos de los Métodos Normativos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y Residuos de la EPA. AWW.WEF. 21th ed. 2005

NOTAS IMPORTANTES

El presente informe es válido por 90 días a partir de la fecha de emisión.

Elaborado por: Julie c.e, U de noviembre del 2023

UNIVERSIDAD ANDINA
 "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

 Ing. Javier Bolívar Gaudinillas
 CIP. 126369
 JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

UNIVERSIDAD ANDINA
 "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

 Ing. Karen Kelly Quispe Quispe
 ASISTENTE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL

Anexo 7. Panel fotográfico



