

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES**



Eficiencia remediadora de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. en agua de poza de oxidación en San Miguel de El Faique  
- 2022

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES**

Marianela Chinchay Vasquez

Oscar Chinguel Silva

**ASESOR**

Luis Darío Santillán García

Morropón, Perú

2023

**METADATOS COMPLEMENTARIOS****Datos de los Autores****Autor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Autor 2**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Autor 3**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Autor 4**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

**Datos de los Asesores****Asesor 1**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

**Asesor 2**

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (Obligatorio)	

### Datos del Jurado

#### Presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

### Datos de la Obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

**\*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesauro).**



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 015 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del martes 02 de abril de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- |                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| 1. Armando Chiclla Salazar        | presidente      |
| 2. Segundo Octavio Zegarra Aliaga | primer miembro  |
| 3. Juan José Monroy Ramos         | segundo miembro |
| 4. Luis Darío Santillán García    | asesor(a)       |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Eficiencia remediadora de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. en agua de poza de oxidación en San Miguel de El Faique - 2022** que presentan los bachilleres en Ciencias Ambientales, **Marianela Chinchay Vasquez y Oscar Chinguel Silva** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR            **X**  
DESAPROBAR        ...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 02 de abril de 2024.

Armando Chiclla Salazar  
Presidente

Segundo Octavio Zegarra Aliaga  
1° miembro

Juan José Monroy Ramos  
2° miembro

Luis Darío Santillán García  
Asesor(a)

Anexo 2

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE **TESIS** / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO

PIURA, 19 de...JUNIO.. de 2024....

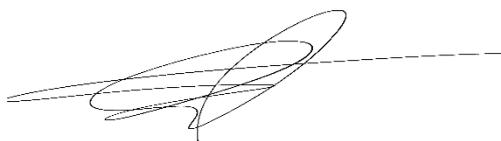
Señor(a),  
Wilfredo Mendoza Caballero  
Jefe del Departamento de Investigación  
Facultad de Ingeniería Agraria

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** bajo mi asesoría, con título: **Eficiencia remediadora de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. en agua de poza de oxidación en San Miguel de El Faique - 2022**, presentado por **Marianela Chinchay Vasquez** (código de estudiante: **2016101382** y DNI: **74630848**) y **Oscar Chinguel Silva** (código de estudiante: **2017101567** y DNI: **71852591**) para optar el título profesional/grado académico de **INGENIERO AMBIENTAL** ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 0 %**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,



Firma del Asesor (a)

DNI N°: 45056117

ORCID: **0000-0001-9218-764X**.

Facultad de Ingeniería Agraria - UCSS

\* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

## **DEDICATORIA**

A mi André Alessandro, mis padres María Vasquez y Alejandrino Chinchay, por ser mi motivo de superación y saber forjarme en valores. A mi abuelito Sixto Vasquez, por ser un hombre inteligente, sabio y empático que merece mi admiración y respeto.

A mis hermanas (os), Karen Machado, Magdalena Chinchay, Nilson Chinchay, Jesús Chinchay y Alejandro Chinchay; por darme esa fuerza que me impulsa a seguir adelante y no desmayar en el intento.

A Marieta Santos y Raúl Martínez, por ser como mis segundos padres a quienes amo y respeto.

**Marianela Chinchay Vasquez**

A mi papá Enrique Chinguel y a mi mamá Dominga Silva, seres que me dieron la vida, la oportunidad de continuar con mis estudios superiores, el apoyo absoluto en este proceso de formación profesional y ser mi impulso de superación.

A mi hermana Adelaida Chinguel y hermano Wilmer Chinguel, por ser la razón y motivo de seguir adelante.

**Oscar Chinguel Silva**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la salud, la vida y perseverancia para ser posible esta tesis. En segundo lugar, a mi familia por haber sido el soporte incondicional que con amor, dedicación, humildad, esfuerzo y sacrificios me apoyan y acompañan en cada paso que doy.

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae por abrirme las puertas y motivarme en culminar mis estudios; A la Diócesis de Morropón – Chulucanas y al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo, por el apoyo moral, ético y económico en esta etapa de crecimiento profesional. A mi asesor Ing. Darío Santillán García, por la orientación, paciencia, amistad, capacidad y conocimientos brindados durante la elaboración de este trabajo de titulación.

Asimismo, agradezco infinitamente a todas las personas como docentes, amistades y compañeros que estuvieron presentes en esta etapa de mi vida, dándome apoyo moral para terminar mi carrera profesional.

**Marianela Chinchay Vasquez**

A Dios, por brindarme la salud y la inteligencia, a mi familia, por ser la base de apoyo incondicional en esta etapa de mi vida. Asimismo, a la familia Chinchay Vasquez, por acogerme y brindarme las facilidades para desarrollar esta investigación. De la misma manera, a mi asesor Ing. Luis Darío Santillán, por guiarme y acompañarme durante toda esta etapa de desarrollo de investigación.

A la UCSS, por permitirme crecer profesionalmente; a la Diócesis de Morropón– Chulucanas y el PRONABEC, por brindarme el apoyo económico. Asimismo, a todos los docentes, amigos (as) y compañeros (as) por ser parte de mi formación académica.

**Oscar Chinguel Silva**

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES .....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	5
1.1.    Antecedentes .....	5
1.2.    Bases teóricas especializadas .....	12
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....	33
2.1.    Diseño de la investigación.....	33
2.2.    Lugar y fecha.....	33
2.3.    Descripción del experimento.....	34
2.4.    Tratamientos.....	46
2.5.    Unidades experimentales.....	47
2.6.    Identificación de las variables y su mensuración .....	48
2.7.    Diseño estadístico del experimento .....	49
2.8.    Análisis estadístico de datos.....	49
2.9.    Materiales .....	50
CAPÍTULO III: RESULTADOS .....	51
3.1.    Crecimiento vegetal.....	51
3.2.    Efecto remediador .....	53
3.3.    Comparación con los límites de vertimiento de agua residual municipal .....	60
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN .....	63
4.1.    Crecimiento vegetal.....	63
4.2.    Efecto remediador .....	64
4.3.    Comparación con los límites de vertimiento de agua residual municipal .....	69
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....	71
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES .....	72

REFERENCIAS .....	73
TERMINOLOGÍA .....	88
APÉNDICES .....	90

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>LMP para efluentes de aguas residuales domésticas</i> .....	19
Tabla 2. <i>Ventajas y desventajas de las lagunas de oxidación</i> .....	21
Tabla 3. <i>Clasificación de lagunas de estabilización</i> .....	22
Tabla 4. <i>Parámetros de control en lagunas de estabilización</i> .....	23
Tabla 5. <i>Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales</i> .....	25
Tabla 6. <i>Mecanismos en la fitorremediación</i> .....	26
Tabla 7. <i>Ventajas y desventajas de la fitorremediación</i> .....	27
Tabla 8. <i>Clasificación de macrófitas acuáticas</i> .....	28
Tabla 9. <i>Clasificación taxonómica de Hydrocotyle ranunculoides L. f.</i> .....	31
Tabla 10. <i>Clasificación taxonómica de Lemna minor L.</i> .....	32
Tabla 11. <i>Frecuencia de muestreo</i> .....	43
Tabla 12. <i>Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a ser comparados con los LMP</i> .....	46
Tabla 13. <i>Tratamientos de la investigación</i> .....	47
Tabla 14. <i>Características del área experimental</i> .....	48
Tabla 15. <i>VARIABLES de la investigación y su mensuración</i> .....	49
Tabla 16. <i>Materiales y equipos</i> .....	50
Tabla 17. <i>Tasa de crecimiento relativa de Hydrocotyle ranunculoides L. f.</i> .....	52
Tabla 18. <i>Tasa de crecimiento relativa de Lemna minor L.</i> .....	53
Tabla 19. <i>Niveles promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el experimento</i> .....	53
Tabla 20. <i>Grado de eficiencia para la temperatura</i> .....	53
Tabla 21. <i>Grado de eficiencia para el pH</i> .....	54
Tabla 22. <i>Grado de eficiencia para la conductividad eléctrica</i> .....	54
Tabla 23. <i>Grado de eficiencia para coliformes termotolerantes</i> .....	54
Tabla 24. <i>Grado de eficiencia para coliformes totales</i> .....	54
Tabla 25. <i>Análisis T de Student para la temperatura en porcentaje (%)</i> .....	55
Tabla 26. <i>Análisis T de Student para el pH en porcentaje (%)</i> .....	56
Tabla 27. <i>Análisis T de Student para la conductividad eléctrica en porcentaje (%)</i> .....	57
Tabla 28. <i>Análisis T de Student para coliformes termotolerantes en porcentaje (%)</i> .....	58
Tabla 29. <i>Análisis T de Student para coliformes totales en porcentaje (%)</i> .....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Componentes de una laguna de oxidación.....	23
<i>Figura 2.</i> Clasificación de macrófitas acuáticas.....	28
<i>Figura 3.</i> Macrófitas comunes.....	30
<i>Figura 4.</i> Ubicación geográfica de la investigación.....	34
<i>Figura 5.</i> Etapas de la investigación .....	35
<i>Figura 6.</i> Limpieza de terreno.....	36
<i>Figura 7.</i> Delimitación del terreno y construcción del techo.....	36
<i>Figura 8.</i> Diseño de dimensionamiento de las piscinas experimentales .....	37
<i>Figura 9.</i> Dimensionamiento y construcción de las piscinas experimentales.....	37
<i>Figura 10.</i> Recolección de las especies macrófitas.....	38
<i>Figura 11.</i> Acondicionamiento de las especies macrófitas .....	39
<i>Figura 12.</i> Colocación de agregados y agua residual a las unidades experimentales .....	39
<i>Figura 13.</i> Diseño de siembra de las especies macrófitas.....	40
<i>Figura 14.</i> Siembra de las especies macrófitas .....	40
<i>Figura 15.</i> Seguimiento de sobrevivencia de las especies macrófitas .....	41
<i>Figura 16.</i> Peso de <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.....	42
<i>Figura 17.</i> Peso de <i>Lemna minor</i> L.....	42
<i>Figura 18.</i> Toma de muestras.....	43
<i>Figura 19.</i> Ecuación de la tasa de crecimiento relativa.....	45
<i>Figura 20.</i> Ecuación de grado de eficiencia .....	46
<i>Figura 21.</i> Distribución de las unidades experimentales .....	47
<i>Figura 22.</i> Crecimiento vegetal de <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.....	51
<i>Figura 23.</i> Crecimiento vegetal de <i>Lemna minor</i> L.....	52
<i>Figura 24.</i> Comportamiento de la temperatura durante el experimento .....	55
<i>Figura 25.</i> Comportamiento del pH durante el experimento .....	56
<i>Figura 26.</i> Comportamiento de la conductividad eléctrica durante el experimento .....	57
<i>Figura 27.</i> Comportamiento de coliformes termotolerantes durante el experimento .....	58
<i>Figura 28.</i> Comportamiento de coliformes totales durante el experimento.....	59
<i>Figura 29.</i> Comparación de la temperatura de los efluentes con los LMP .....	60
<i>Figura 30.</i> Comparación del pH de los efluentes con los LMP .....	61
<i>Figura 31.</i> Comparación de coliformes termotolerantes de los efluentes con los LMP .....	62

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Ubicación geográfica del distrito de San Miguel de El Faique.....	90
Apéndice 2. Fichas de campo de parámetros fisicoquímicos .....	91
Apéndice 3. Cadenas custodias de parámetros microbiológicos.....	95
Apéndice 4. Informes de análisis microbiológicos.....	99
Apéndice 5. Crecimiento vegetal de las especies macrófitas .....	109
Apéndice 6. Resultados de análisis de parámetros en campo y laboratorio .....	110
Apéndice 7. Pruebas de normalidad Shapiro-Wilk de los tratamientos sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos .....	111
Apéndice 8. Panel fotográfico .....	112

## RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. para remediar agua residual de poza de oxidación en San Miguel de El Faique. El enfoque del estudio fue cuantitativo con alcance descriptivo-explicativo y diseño experimental del tipo pre-experimental. La metodología consistió en la construcción de dos piscinas experimentales (con tres repeticiones) de flujo discontinuo de 40 cm de profundidad, 50 cm de ancho y 156 cm de largo, la primera piscina fue acondicionada con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y la segunda con *Lemna minor* L., evaluadas a los 35, 49 y 63 días. Las variables analizadas fueron temperatura (°C), potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E.), coliformes totales, coliformes termotolerantes y tasa de crecimiento relativa. Se evaluó el cumplimiento de la normalidad de los resultados mediante la prueba Shapiro-Wilk, luego se utilizó la prueba T de Student ( $\alpha = 0,05$ ) para determinar diferencias entre los tratamientos a través del programa estadístico Infostat v2020e. Los resultados evidenciaron que el tratamiento del agua residual con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. a los 63 días tuvo una tasa de crecimiento relativa de  $0,0292 \text{ día}^{-1}$ , temperatura  $21,37 \text{ °C}$ , pH 7,92, y una eficiencia del 66,33 % en conductividad eléctrica, 97 % en coliformes termotolerantes y 95,67 % en coliformes totales; mientras que, el tratamiento del agua residual con *Lemna minor* L. a los 63 días registró una tasa de crecimiento relativa de  $0,0133 \text{ día}^{-1}$ , temperatura  $21,57 \text{ °C}$ , pH 7,24, y una eficiencia en conductividad eléctrica del 70,67 %, coliformes termotolerantes 97,67 % y coliformes totales 99,33 %. Los parámetros de temperatura, pH y coliformes termotolerantes cumplieron con los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM. El estudio concluyó que *Lemna minor* L. fue más eficiente para remediar aguas residuales de poza de oxidación en San Miguel de El Faique.

**Palabras clave:** Poza de oxidación, fitorremediación, crecimiento vegetal.

## ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the efficiency of *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. and *Lemna minor* L. to remediate wastewater from an oxidation pond in San Miguel de El Faique. The study approach was quantitative with a descriptive-explanatory scope and a pre-experimental experimental design. The methodology consisted of the construction of two experimental pools (with three repetitions) of discontinuous flow of 40 cm deep, 50 cm wide and 156 cm long, the first pool was conditioned with *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. and the second with *Lemna minor* L., evaluated at 35, 49 and 63 days. The variables analyzed were temperature (°C), hydrogen potential (pH), electrical conductivity (E.C.), total coliforms, thermotolerant coliforms and relative growth rate. Compliance with normality of the results was evaluated using the Shapiro-Wilk test, then the Student's t-test ( $\alpha = 0.05$ ) was used to determine differences between treatments through the statistical program Infostat v2020e. The results evidenced that the wastewater treatment with *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. at 63 days had a relative growth rate of  $0,0292 \text{ day}^{-1}$ , temperature  $21,37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , pH 7,92, and an efficiency of 66,33 % in electrical conductivity, 97 % in thermotolerant coliforms and 95,67 % in total coliforms; while, wastewater treatment with *Lemna minor* L. at 63 days recorded a relative growth rate of  $0,0133 \text{ day}^{-1}$ , temperature  $21,57 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , pH 7,24, and an efficiency in electrical conductivity of 70,67 %, thermotolerant coliforms 97,67 % and total coliforms 99,33 %. The temperature, pH and thermotolerant coliforms parameters complied with the MPLs of D.S. N° 003-2010-MINAM. The study concluded that *Lemna minor* L. was more efficient in remediating oxidation pond wastewater in San Miguel de El Faique.

**Key words:** Oxidation pond, phytoremediation, plant growth.

## INTRODUCCIÓN

Las migraciones de las zonas rurales hacia las zonas urbanas son cada vez más frecuentes en todo el mundo; por lo que, América Latina no es la excepción (Larios *et al.*, 2015); a pesar de que esta región posee 1/3 del 2,5 % del agua dulce en el mundo, la contaminación de este recurso presenta múltiples efectos en los ecosistemas, como la destrucción de la vida acuática, eutrofización y alteración en la cadena alimenticia; reduciendo la disponibilidad para el desarrollo de diversas actividades domésticas, agrícolas, pecuarias, etc. (Yee, 2013). La contaminación del agua es producida por la diseminación de materia coloidal disuelta, materiales sedimentables y flotantes (Gómez, 2021), siendo el vertimiento de aguas residuales la principal fuente de contaminación (Garcés *et al.*, 2004). La generación de aguas residuales es uno de los problemas de mayor preocupación; ya que, no son tratadas ni reutilizadas, sino arrojadas directamente a cuerpos de agua natural (Torres, 2019).

La localidad de San Miguel de El Faique ha experimentado un aumento significativo en las actividades económicas de origen humano, lo que ha incrementado la descarga de aguas residuales en los cuerpos de agua naturales. Este fenómeno ha tenido un impacto negativo en los ecosistemas de la zona (Municipalidad Distrital San Miguel de El Faique [MDSF], 2021). En consecuencia, en el año 2020 se presentó una denuncia ambiental ante la Municipalidad Distrital San Miguel de El Faique debido a la contaminación de las aguas naturales de la quebrada El Trapiche; esta contaminación se originó a partir de la liberación de aguas residuales procedentes de las pozas de oxidación, que son utilizadas en el tratamiento de aguas residuales municipales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2021).

Osorio *et al.* (2010) mencionan que la definición exacta de aguas residuales es muy compleja, pues depende de las características de la población y del método de recogida. Raffo y Ruíz (2014) alegan que aproximadamente el 75 % de sólidos suspendidos (SS) y el 40 % de sólidos filtrables (SF) a concentraciones medias son de naturaleza orgánica. Desde años atrás se han desarrollado diferentes estudios con técnicas y métodos eficientes que

remueven compuestos inorgánicos y orgánicos de las aguas residuales, las cuales están dirigidos a reducir o eliminar el elemento contaminante que afecta la calidad del agua (Orozco, 2005). Sin embargo, Ramalho (2021) recalca que para tener resultados óptimos es fundamental la participación de diferentes disciplinas como ciencias aplicadas, biológicas, sociales, económicas y la ingeniería.

La importancia de preservar las aguas superficiales y subterráneas conlleva la necesidad de tratar adecuadamente las aguas residuales antes de liberarlas en los cuerpos de agua naturales. Esto es especialmente crítico dado que, en muchas ocasiones, estas fuentes de agua son utilizadas para el consumo humano por las comunidades cercanas y no deben ser contaminadas (Torres, 2019). Frente a esta situación, es esencial evaluar soluciones que se ajusten a las condiciones geográficas, ambientales y económicas específicas de la región (Núñez, 2019).

En este contexto, la fitorremediación se presenta como una alternativa de solución que aprovecha el poder de las plantas para eliminar contaminantes tanto *in situ* y *ex situ* (Ayala *et al.*, 2018). Estas plantas tienen la capacidad única de absorber, retener, degradar y prevenir la volatilización de gases contaminantes, como lo señala el estudio de Léo *et al.* (2009). La fitorremediación se destaca por ser una opción de bajo costo, sostenible a largo plazo y respetuosa con el medio ambiente, lo que garantiza una mínima interrupción ambiental durante su implementación (Machorro *et al.*, 2020). Es así que, entre la amplia variedad de macrófitas o plantas acuáticas utilizadas en la fitorremediación, destacan algunas especies como el “jacinto de agua” *Eichhornia crassipes*, la “lechuga de agua” *Pistia stratiotes*, el “sobrerillo de agua” *Hydrocotyle ranunculoides* y diversas especies de lentejas como *Lemna* spp. y *Spirodella* spp. (Martelo y Lara, 2012). Estas plantas desempeñan un papel esencial en la restauración y purificación de cuerpos de agua afectados por la contaminación, ofreciendo una estrategia prometedora y amigable con el entorno para abordar los desafíos ambientales.

La presente investigación evaluó la eficiencia de dos macrófitas *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. “sombrerillo de agua” y *Lemna minor* L. “lenteja de agua” para remediar aguas residuales (poza de oxidación) en el distrito de San Miguel de El Faique sobre parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (temperatura, pH, conductividad eléctrica, coliformes totales y termotolerantes). Este estudio tuvo por finalidad la búsqueda de una alternativa para disminuir la contaminación ambiental generada por aguas residuales; además, de proporcionar información a las entidades e instituciones públicas o privadas con competencia ambiental, asumiéndolo como líneas base en la toma de decisiones en futuros proyectos.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar la eficiencia de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. para remediar agua residual de poza de oxidación en San Miguel de El Faique.

### Objetivos específicos

- Evaluar el crecimiento vegetal de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. en función a la tasa de crecimiento relativa bajo las condiciones climáticas de San Miguel de El Faique.
- Analizar el efecto remediador entre *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. en las características fisicoquímicas y microbiológicas, temperatura, pH, conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes y coliformes totales del agua residual de poza de oxidación en San Miguel de El Faique.
- Comparar las características fisicoquímicas y microbiológicas analizadas del agua residual de poza de oxidación tratada con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L., con los LMP para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM) en San Miguel de El Faique.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

#### Internacionales

Gualán (2016) realizó una investigación que tuvo como objetivo evaluar la capacidad remediadora de *Echinochloa polystachya* y *Lemna minor* en el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, Zamora Chinchipe - Ecuador. La investigación tuvo enfoque cuantitativo de alcance correlacional con diseño experimental. La metodología consistió de dos tratamientos conformados por *Echinochloa polystachya* (T1), *Lemna minor* (T2) y un testigo, para ello construyó tres piscinas experimentales de 1 m<sup>2</sup> y 0,45 m de profundidad, con 10 cm de piedra mediana, 5 cm de grava, 5 cm de tierra y 35 cm de agua residual cada una, sembró 25 plántulas de *Echinochloa polystachya* en una y en otra 85,05 g de *Lemna minor*, las que adaptó y estableció por seis semanas, y monitoreo en tres tiempos durante 21 días. Las variables de estudio fueron la capacidad fitorremediadora de las macrófitas (v. independiente) y el nivel de remoción del agua residual en función al tiempo y las especies vegetales (v. dependiente). Analizó los resultados mediante el modelo estadístico ANOVA con una significancia del 5 %. Los resultados evidenciaron el potencial fitorremediador de *Echinochloa polystachya* a los 21 días: temperatura 23,4 °C, pH 7,1, coliformes fecales [CF] 930 NMP/100 ml y coliformes totales [CT] 7 500 NMP/100 ml; mientras que *Lemna minor* tuvo: temperatura 23 °C, pH 7,5, CF 230 NMP/100 ml y CT 430 NMP/100 ml. El estudio concluyó en un promedio de remoción significativa de contaminantes de la macrófita *Lemna minor* con el 81 % durante 21 días.

Masache (2016) desarrolló una investigación con el objetivo de remover contaminantes de aguas residuales provenientes de la actividad porciculturera empleando *Pistia stratiotes* L.

y *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. Zamora, Ecuador. La investigación presentó un enfoque cuantitativo de alcance correlacional con diseño experimental. El estudio consideró dos tratamientos (T1: *Pistia stratiotes* L., T2: *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.) con tres repeticiones. La metodología consistió en la construcción de dos piscinas experimentales de flujo continuo de 1 m<sup>2</sup> con 0,50 m de fondo, en la que añadió 5 cm de grava, 6 cm de tierra y agua residual reguladas por un caudal con grifos; en cada piscina fueron sembradas 40 plantas de cada especie, que fueron monitoreadas durante cuatro meses. Las variables de estudio fueron el nivel de remoción del agua (v. dependiente) y la capacidad fitorremediadora de las especies (v. independiente). El método estadístico que empleó fue no paramétrico “Chi-cuadrado”. Los resultados mostraron valores de temperatura de 26 °C, pH de 8 y 3 000 NMP/100 ml de coliformes fecales antes de los tratamientos y al final de estudio *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. registró 57 NMP/100 ml y *Pistia stratiotes* L. 33 NMP/100 ml de CF. El estudio concluyó que *Pistia stratiotes* L. presentó mayor potencial fitorremediador.

Sierra *et al.* (2016) realizaron una investigación que tuvo como propósito determinar la tasa de crecimiento relativa de *Lemna minor* sp. y la capacidad de remoción de materia orgánica en las aguas residuales municipales de Valledupar. Bogotá, Colombia. La metodología consistió en la construcción de cuatro reactores (R1, R2, R3 y R4) de flujo discontinuo, en 987,5 cm<sup>2</sup> de área superficial, 14 cm de altura y con una cavidad de 14 litros cada uno. Las muestras de agua residual fueron tomadas de las lagunas anaerobias Valledupar; mientras que, las especies de *Lemna minor* sp. del humedal de Villa Bere. Los investigadores midieron variables fisicoquímicas: materia orgánica, pH y temperatura durante 15 días; así como la producción de biomasa y la tasa relativa de crecimiento en función al número de frondas, durante 20 días, después de la fase de aclimatación. Los resultados mostraron al final del tratamiento de agua residual con *Lemna minor* sp., materia orgánica en el R1: 78,9 mg/l, R2: 77 mg/l, R3: 73,8 mg/l y R4: 63,5 mg/l; pH en el R1: 8,44, R2: 8,44, R3: 8,46, R4: 8,65 y temperatura entre 29 a 29,7 °C en todos los reactores; asimismo, la tasa relativa de crecimiento de *Lemna minor* sp. para el R1 fue 0,1618 día<sup>-1</sup>, R2: 0,1568 día<sup>-1</sup>, R3: 0,1599 día<sup>-1</sup> y R4: 0,1456 día<sup>-1</sup>. Los autores concluyeron que la tasa relativa de crecimiento de *Lemna minor* sp. depende de la disponibilidad de nutrientes en el agua, la temperatura y el pH.

Zarazúa *et al.* (2013) desarrollaron una investigación con el objetivo de evaluar la concentración de metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb en las partes aéreas y sumergidas de la *Hydrocotyle ranunculoides* de aguas proveniente del río Lerma. México. La población estuvo constituida por la macrófita *Hydrocotyle ranunculoides* del curso del río Lerma y seis muestras de la especie vegetal con 20 litros de muestra compuesta de agua superficial. Las técnicas para la recolección de datos fueron realizadas *in situ* con un equipo portátil Hach y *ex situ* con la espectrometría de emisión óptica de plasma (ICP-OES). La metodología consistió en lavar la *Hydrocotyle ranunculoides* con agua potable y desmineralizada, luego la especie fue separada en raíz y parte aérea para pasar un proceso de liofilización, sacaron una submuestra molida y homogeneizada de 500 mg que pasó un proceso de digestión ácida; la muestra de 500 ml de agua fue filtrada para separar partículas de la solución, el agua fue fijada con ácido nítrico ultrapuro. El tratamiento de los datos fue mediante el análisis estadístico ANOVA al 5 % de significancia con el programa Statgraphics v.5 Plus. Los resultados mostraron un pH entre 5,9 – 7,1, una temperatura de 11 – 21 °C, una CE de 562  $\mu\text{S}/\text{cm}$  - 820  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y que los metales pesados como Fe, Zn y Pb sobrepasaron los LMP de protección de vida acuática; además, la concentración de metales en la especie vegetal fue  $\geq 70\%$  en la raíz a excepción del Zn. El estudio concluyó que *Hydrocotyle ranunculoides* fue una especie vegetal hiperacumuladora de metales pesados en las raíces.

## Nacionales

Baltazar y Perez (2021) realizaron una investigación con el propósito de evaluar la eficiencia de *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y *Marchantia polymorpha* en la remoción de aguas residuales domésticas a través de humedales artificiales. Santiago de Chuco-La libertad. La investigación tuvo diseño experimental. La metodología consistió en la construcción de tres humedales piloto con una cavidad de 1 000 litros de agua residual en cada una, 10 cm de arena /grava y especies vegetales que fueron monitoreadas durante 30 días. El tratamiento de los datos fue mediante cálculos matemáticos como caudal, área superficial, retención hidráulica y eficiencia de remoción. Los resultados mostraron que el agua residual sin tratamiento tuvo valores de 7,7 de pH, CE de 718,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , CT de 6,6 x 10<sup>6</sup> NMP/100 ml y CF de 3,4 x 10<sup>5</sup> NMP/100 ml los cuales superaron los LMP, pero el agua residual tratada con *Eichhornia crassipes* mostró un pH de 7,6, una remoción en CE de 74,9 %, CF de 100 % y CT de 100 % y *Lemna minor* registró una temperatura de 15 °C,

pH (7,6), remoción de CE (70,7 %) CF (97,9 %) y CT (100 %), los cuales cumplieron los LMP. El estudio concluyó que *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* fueron eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Santiago de Chuco.

Villaseca (2021) realizó un estudio con el objetivo de evaluar el potencial fitorremediador de *Lemna minor* en agua residual de pozas de oxidación de Táchala, Castilla – Piura. El diseño del estudio fue cuasi experimental. La metodología consistió en la extracción de muestras de agua residual no probabilísticas y en la construcción de dos lagunas de 2 m<sup>2</sup> y 1 m de profundidad interceptada por un tubo PVC a desnivel, la laguna contuvo agua contaminada y 3 200 g de *Lemna minor* que fue monitoreada durante un mes. Las variables analizadas fueron la eficiencia remediadora de la especie macrófita (v. independiente) y el nivel de descontaminación del agua residual de las pozas de oxidación de Tacála (v. dependiente). Para el análisis de datos utilizó los programas de Microsoft Excel y SPSS. Los resultados evidenciaron antes del tratamiento una temperatura de 22,2 °C, pH: 7,33, CT: 24 x 10<sup>4</sup> NMP/100 ml y CF: 92 x 10<sup>3</sup> NMP/100 ml; sin embargo, después del tratamiento presentó una temperatura de 21,8 °C, pH: 7,22, CT: 92 x 10<sup>3</sup> NMP/100 ml y CF: 54 x 10<sup>3</sup> NMP/100 ml. El estudio concluyó que la especie vegetal *Lemna minor* disminuyó los valores de contaminación en las pozas de oxidación de Táchala, pero no fue suficiente para cumplir con los LMP.

Ayay (2019) realizó una investigación con el objetivo de evaluar la eficiencia de remoción de *Lemna minor* y *Pistia stratiotes* para tratar agua residual de la Granja Porcón. Cajamarca, Perú. El estudio tuvo un diseño no experimental longitudinal. La población estuvo constituida por el agua residual de la Granja Porcón con un total de 100 L de muestra tomada por conveniencia, consideró dos tratamientos (T1: *Lemna minor* y T2: *Pistia stratiotes*) con tres repeticiones. Las técnicas para la recolección de datos fueron la observación directa y análisis de laboratorio, utilizaron el D.S N° 003-2010-MINAM como instrumento de comparación. La metodología consistió en la construcción de dos piscinas experimentales de 45 cm de fondo, 1,60 m de largo y 1,40 m de ancho cubiertas con geomembrana, las piscinas fueron llenadas con agua residual de la poza de oxidación Porcón a través de tuberías reguladas con grifos y sembró 100 plantas por especie con una separación de 10 cm, el proceso fue monitoreado cada 10 días durante 30 días. El

tratamiento de los datos fue mediante un análisis estadístico de regresión lineal simple y coeficientes, para ello uso el programa SPSS y Excel. Los resultados evidenciaron con *Lemna minor* con una temperatura de 23,5 °C, pH de 7,2, coliformes termotolerantes de 3 900 NMP/100 ml, y con *Pistia stratiotes* una concentración de coliformes termotolerantes de 6 400 NMP/100 ml, los valores obtenidos por ambas especies cumplieron con los LMP. La investigación concluyó que la macrófita *Lemna minor* fue más eficiente que *Pistia stratiotes* para remediar agua residual.

Guerrero y Jibaja (2019) desarrollaron un estudio con el propósito de evaluar la eficiencia de depuración sobre las aguas residuales provenientes de la laguna de oxidación de Jaén empleando *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*. Cajamarca, Perú. El estudio tuvo un enfoque cuantitativo con diseño experimental. La metodología consistió en la construcción de tres sistemas de tratamiento de flujo discontinuo con tres repeticiones (T1: *Eichhornia crassipes*, T2: *Lemna minor* y T3: testigo) con medidas de 40\*30 cm<sup>2</sup> de área y 30 cm de profundidad, en la cual añadieron 30 L de agua residual a cada depósito hasta 25 cm de la altura del estanque y sembraron siete ejemplares de *Eichhornia crassipes* al T1, 30 g de *Lemna minor* al T2, y monitorearon los sistemas cada dos semanas por 45 días. El tratamiento de los datos fue mediante un análisis estadístico ANOVA al 5 % con diseño completamente al azar, a través del programa Microsoft Office Excel. Los resultados indicaron la eficiencia de depuración para tratar agua residual cuyo valor inicial de pH fue 7,52 y disminuyó con la *Eichhornia crassipes* a 7,09, pero aumentó con *Lemna minor* a 8,15; la CE inicialmente fue 941 µS/cm, con la *Eichhornia crassipes* alcanzó 382 µS/cm y con *Lemna minor* 446 µS/cm, la temperatura inicial fue 23,93 °C, pero disminuyó a 23,63 °C con *Eichhornia crassipes* y 23,73 °C con *Lemna minor*, ambas cumplieron con los LMP. La investigación concluyó que *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* fueron eficientes en el tratamiento de agua residual de poza de oxidación de Jaén.

Quispe *et al.* (2019) realizaron un estudio con el objetivo de mejorar la funcionalidad de la PTAR en la localidad de Alcas con *Hydrocotyle ranunculoides*. Huancayo - Perú. La metodología estuvo compuesta en dos fases: la primera fue preexperimental que consistió en 10 módulos de 40 cm, 30 cm y 25 cm de largo, ancho y profundidad, respectivamente; a las que agregaron muestras de 250 g de *Hydrocotyle ranunculoides* para evaluar su

crecimiento poblacional en función al peso seco final e inicial de la macrófita durante 70 días; y la segunda fase fue experimental realizada en la misma PTAR con cuatro lagunas de estabilización y especies de *Hydrocotyle ranunculoides*, tomaron muestras de agua residual a la entrada y salida del sistema cada 30 días por un periodo de 240 días. Las variables analizadas fueron: temperatura, crecimiento poblacional, demanda química de oxígeno, coliformes termotolerantes y coliformes totales. El análisis de la información fue a través de pruebas estadísticas de regresión lineal y no lineal con los softwares Minitab y Matlab. Los resultados evidenciaron un peso seco inicial de 7,49 g (día 7) y final de 64,30 g (día 70) de la macrófita, con una tasa de crecimiento relativa de 0,0307 y un área de crecimiento poblacional final de 248,50 cm<sup>2</sup>, y en la fase experimental *Hydrocotyle ranunculoides* mostró una eficiencia de remoción de un 50,30 % en el día 60 y 77,37 % en el día 240 de coliformes termotolerantes y temperaturas de 10 °C (día 60) y 13,20 °C (día 240). El estudio concluyó que la especie vegetal *Hydrocotyle ranunculoides* ayudó a mejorar la funcionalidad de la PTAR de la localidad de Alcas.

Torres (2019) desarrolló una investigación con el objetivo de evaluar la influencia de las macrófitas *Lemna minor* y *Eleocharis palustris* en remediar agua residual doméstica de la Universidad Nacional de Ucayali. Huánuco – Perú. El estudio tuvo enfoque cuantitativo de alcance descriptivo con diseño experimental. La metodología consistió en la construcción de tres estanques (T1: *Lemna minor*, T2: *Eleocharis palustris* y T3: testigo) de 4,68 m<sup>2</sup> y 1,2 m de profundidad con tres repeticiones cada uno, cada estanque tuvo una entrada y salida de agua residual a 90 cm y 70 cm de la base, respectivamente; con un tiempo de retención de 42 días que fueron monitoreadas semanalmente. Las variables analizadas fueron el efecto remediador de las especies macrófitas (v. independiente) y la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada (v. dependiente). El diseño estadístico fue completamente al azar y los resultados fueron sometidos a las pruebas Tukey - ANOVA con una significancia del 5 %. Los resultados evidenciaron que *Eleocharis palustris* tuvo remociones porcentuales de 7,8 a 7,4 en pH, 28,1 a 27,2 de temperatura, 29,2 % en CE y 98,9 % en CF; mientras que, *Lemna minor* tuvo reducciones de 8,1 a 7,8 en pH, 28,1 a 27,5 de temperatura y remociones de un 28,1 % y un 99,2 % en CE y CF, respectivamente. El estudio concluyó que *Lemna minor* y *Eleocharis palustris* influyeron significativamente en la mejora de la calidad de agua residual de la Universidad Nacional de Ucayali.

Chuquibala y Sánchez (2017) realizaron un estudio con el objetivo de determinar el potencial remediador de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en agua residual doméstica del Anexo El Molino. Chachapoyas – Perú. El alcance fue inductivo-deductivo con diseño experimental. La metodología consistió en la construcción de cuatro humedales artificiales de flujo superficial diseñados a partir de la adaptación de la ecuación de Robert Manning; cada humedal tuvo medio metro de profundidad con un área de 2 m x 0,6 m y una pendiente de 1 %. Evaluaron tres tratamientos (T1: agua residual + *Eichhornia crassipes* con una repetición, T2: agua residual + *Lemna minor* y T3: testigo) durante un periodo de 35 días; las variables analizadas fueron las especies macrófitas (v. independiente) y agua residual doméstica tratada (v. dependiente). El tratamiento de los datos fue a través del programa Microsoft Excel con tablas y gráficos de barras. Los resultados evidenciaron remociones en coliformes totales del 80 % con *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* con 51,11 % y el testigo 8,90 %. El estudio concluyó que *Eichhornia crassipes* fue excelente remediador de aguas residuales domésticas, ya que los valores obtenidos cumplieron con los LMP; mientras que, *Lemna minor* fue considerada como poco eficiente.

Coronel (2016) desarrolló una investigación con el propósito de evaluar la eficiencia de remoción de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* sobre las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas [UNTRM]. Chachapoyas – Perú. El estudio tuvo un diseño experimental. La metodología consistió en la construcción de tres estanques de flujo discontinuo de 30 cm de profundidad y un área de 31,50 cm x 85,05 cm cada uno, dando lugar a tres tratamientos, T1: estanque + *Eichhornia crassipes*, T2: estanque + *Lemna minor* y T3: estanque sin macrófita; cada estanque fue cubierto el 50 % del área con especies vegetales que monitorearon durante 44 días con una retención hidráulica de 10 días. Las variables analizadas fueron las especies macrófitas flotantes (v. independiente) y los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (v. dependiente). El diseño estadístico fue completamente al azar y para el análisis estadístico los resultados fueron sometidos a las pruebas Tukey - ANOVA con una significancia del 5 %. Los resultados evidenciaron para *Eichhornia crassipes* una temperatura de 19,98 °C, pH: 7,20 y remociones de CE: 77 %, CT: 99,98 % y CF: 99,99 %; mientras que, *Lemna minor* tuvo una temperatura de 20,85 °C, pH: 7,96, CE: 71,75 %, CT: 95,83 % y CF: 95,62 %. El estudio concluyó que *Eichhornia crassipes*

fue más eficiente con un promedio de remoción del 88,24 % y *Lemna minor* tuvo un 81,24 %; asimismo, no cumplieron con los LMP.

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. Aguas residuales**

Carrera y Suárez (2019) definen al agua residual como el resultado de la combinación de sólidos y líquidos provenientes de actividades antropogénicas públicas o privadas que llevan a la degradación de la calidad original del agua. Por ello, el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) recomienda el tratamiento de las aguas residuales antes de ser vertidas, rehusadas o depositadas en el sistema de alcantarillado, ya que según Ferrer *et al.* (2018) el vertimiento inadecuado representa una amenaza para el medio ambiente y los seres vivos.

#### **Clasificación de las aguas residuales**

El OEFA (2014) determina la clasificación de aguas residuales en domésticas, municipales e industriales.

##### **a. Agua residual doméstica**

Para el OEFA (2014) el agua residual doméstica es de origen comercial y domiciliario que contienen material orgánico producto del funcionamiento biológico de las personas, y que deberían ser gestionados adecuadamente. Asimismo, García (1985, citado por Torres, 2019) especifica que este tipo de agua se deriva del metabolismo humano, cocina, aseo personal y limpieza; es por ello, que contienen microorganismos, materia orgánica, restos de detergentes y grasas.

Gómez (2021) describe a las aguas residuales domésticas como aquellas que proceden de viviendas, principalmente de servicios producidos por el metabolismo humano, que son recogidas por la red de alcantarillado municipal y que deberían ser tratadas antes de verterlas a ríos o destinarlas a otras aplicaciones.

## **b. Agua residual municipal**

Es la combinación de agua residual doméstica, agua residual de procesos industriales preliminarmente tratadas y agua pluvial que son colectados en la red municipal de alcantarillado (OEFA, 2014). Su composición es variable debido a la gran diversidad de contaminantes liberados por distintas fuentes (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017).

## **c. Agua residual industrial**

Son producto de las actividades productivas, actividades energéticas, mineras y otros (OEFA, 2014). Contienen una gran variedad de contaminantes donde la movilidad y toxicidad de sus componentes pueden ocasionar efectos muy graves en el recurso hídrico, medio ambiente y salud humana (UNESCO, 2017).

El vertimiento inadecuado de agua residual ocasiona una serie de problemas relacionados con su acopio y tratamiento. Ansola *et al.* (2003) mencionan que los principales problemas del inadecuado vertimiento de agua residual son: causar alteraciones estéticas, contaminación de suelos y agua, eutrofización, modificación de la vida acuática, malos olores e infecciones por microorganismos patógenos, etc. Las infecciones por patógenos son consideradas un problema global, ya que de acuerdo a cifras de la OMS en promedio el 15 % de las personas en el mundo sufren enfermedades gastrointestinales llevando a deceso un estimado de 842 000 personas entre niños y ancianos a causa de diarreas por consumo de agua insalubre (Liberio y Vásquez, 2020).

## **Características de las aguas residuales**

El agua residual presenta una variedad de componentes fisicoquímicos y biológicos con parámetros que permiten monitorearlos y controlarlos, algunos de estos componentes son los sólidos suspendidos, compuestos orgánicos y patógenos que requieren mayor consideración al momento de diseñar instalaciones de tratamientos (García, 2012). Varios de los parámetros tienen relación directa entre sí, siendo una de ellas la temperatura que

condiciona la actividad biológica y el oxígeno disuelto en el tratamiento de agua residual (Núñez, 2019).

Según Martín *et al.* (2009) el agua residual debido a sus características se divide en tres partes: físicas, químicas y biológicas.

#### **a. Características físicas**

Algunas características físicas del agua residual son:

- **Sólidos totales (ST)**

Son todos los contaminantes del agua provenientes en su mayoría de materia orgánica, excluyendo gases disueltos (Romero *et al.*, 2009); por su tamaño los clasifican en sólidos disueltos y sólidos suspendidos (Torres, 2019). Para evaluar la presencia de ST en el agua hacen uso de un equipo lector como el multiparámetro, un proceso de evaporación o secado separando los sólidos del líquido (Torres y Lozano, 2017). Ayay (2019) alega que los sólidos totales proporcionan información importante porque ayuda a comprender los niveles y diseños de tratamiento de agua residual.

- **Turbiedad**

Es la suma de la materia en suspensión y coloidal que produce un efecto óptico por la interferencia de la luz que pasa a través del agua (Romero, 2002 y Llano *et al.*, 2014). Cuando la turbidez es alta, la materia sólida no permite el ingreso de luz que las plantas acuáticas necesitan para realizar fotosíntesis (López *et al.*, 2019). Para medir la turbiedad Severiche *et al.* (2013) menciona que debe hacerse una comparación de la intensidad de la luz del agua residual entre la intensidad registrada en una suspensión de referencia.

- **Temperatura**

El agua residual presenta una temperatura mayor en comparación a un agua potable, esto debido a la descomposición de la materia orgánica que libera energía producto de las

reacciones bioquímicas (Perales, 2018). León y Lucero (2009) alegan que la temperatura influye significativamente en el metabolismo de las especies acuáticas y depende de ello la velocidad de depuración. Asimismo, Delgadillo *et al.* (2010) resaltan que la actividad bacteriana se desarrolla a una temperatura óptima de 25 – 35 °C deteniéndose cuando el agua alcanza una temperatura  $\geq 50$  °C.

La temperatura del agua tiene una relación directa con el oxígeno disuelto, la actividad biológica y el carbonato de calcio, para medir este parámetro la muestra debe ser estimada con exactitud, sumergiendo un termómetro en la muestra o directamente en el cuerpo del agua a analizar (Poma y Quispe, 2016).

- Conductividad eléctrica (C.E.)

La unidad de medida está representada por siemens/metro (S/m), pero el más utilizado es microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), la conductividad eléctrica es la cantidad de sales disueltas en el agua capaces de trasladar corriente eléctrica a través de sus iones producto de la disociación de los mismos (Solís *et al.*, 2018). Romero (2002) alega que cualquier variación en la temperatura, concentración de sustancias disueltas, en la valencia y movilidad de los iones disueltos produce una permutación en la conductividad.

Las lecturas de conductividad *in situ* reflejan valores altos en las aguas residuales en temporadas secas de 743 a 1 282  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , debido a que las concentraciones de sales presentes en el agua son altas (Esquivel y Lacayo, 2020). Mayormente los valores altos de CE provienen de aguas desechadas de lavaderos de ropas, debido a la alta concentración de sales en los detergentes anicónicos, catiónicos, tensioactivos y biodegradables (Jaco, 2022).

- Color

Las aguas residuales suelen presentar un color gris y con el tiempo se van tornando negras; asimismo, por el proceso de eutrofización pueden verse verdes o rosáceas debido a la presencia de una gran cantidad de materia orgánica (Moret, 2014). El color del agua

funciona como un indicador de contaminación evidenciando la presencia de óxidos metálicos u otros compuestos (Gualán, 2016).

- Olor

Se presenta cuando la materia orgánica está siendo descompuesta, evidenciando un olor desagradable principalmente cuando el sulfuro de hidrógeno se convierte en sulfitos y sulfatos (Chimbo y Montero, 2018). El análisis de este parámetro debe llevarse a cabo con muestras recolectadas según los protocolos establecidos por la autoridad competente (Ferrer *et al.*, 2018).

## **b. Características químicas**

Algunas características químicas del agua residual son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Es el número total de oxígeno consumido por los microbios en la degradación de la materia orgánica y se analiza a nivel de laboratorio durante cinco días a una T de 20 °C en unidades de mg/l (Raffo y Ruiz, 2014). Raymundo (2017) señala que la DBO<sub>5</sub> representa la cantidad de contaminantes orgánicos en cualquier cuerpo de agua a analizar.

- Demanda química de oxígeno (DQO)

Medina y Peralta (2015) refieren que la DQO mide la concentración de materia orgánica del agua residual empleando un agente químico oxidante en un sustrato ácido. El análisis de DQO se obtiene en un tiempo menor (3 horas) en comparación a la DBO; ya que, por vía química se puede oxidar compuestos que no se logra de manera biológica (Metcalf y Eddy, 1985, citado por Torres, 2019).

- Potencial de hidrógeno (pH)

Es el cálculo del ion hidrógeno presente en el agua residual, el cual debe ser ligeramente neutra (6,5) a ligeramente alcalina (8,5), si el agua residual presenta pH < 5 o pH > 9 altera

la biota haciendo difícil un tratamiento biológico (García, 2012). Romero (2002) alega que para tratamientos de efluentes el pH debería estar entre 6,0 y 9,0. En tanto Sekhar *et al.* (2018) manifiesta que este parámetro depende mucho de los gases disueltos, ácidos orgánicos y sales minerales. Además, este representa un parámetro importante para el control en todas las etapas del tratamiento de las aguas residuales (Masache, 2016). La alcalinidad de pH se refiere a la presencia de carbonatos, hidróxidos y bicarbonatos presentes en el agua residual (Carranza y Romero, 2020).

- Aceites y grasas

Son compuestos orgánicos que flotan y cubren la superficie del agua e interfieren con la actividad biológica causando problemas en los sistemas de tratamiento; asimismo, los aceites y grasas presentan carbono, hidrógeno y oxígeno alterando la calidad estética del agua (Millán y Polania, 2018).

### **c. Características biológicas**

Concentración de microorganismos presentes en el agua residual, cruciales en la descomposición y estabilización de materia orgánica. Algunas características microbiológicas son:

- Coliformes totales (CT)

Bacilos gramnegativos, aeróbicos o anaeróbicos, no esporulantes, crecen en condiciones de fermentación, sales biliares o ácido láctico que producen ácidos, posiblemente gases y aldehídos a 35 °C, durante 1 - 2 días pueden presentar actividad enzimática de la galactosa, la mayoría de las bacterias del grupo de los coliformes pertenecen a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter* (Fundación Nacional de Salud [FUNASA], 2013).

Según Camacho *et al.* (2009) estos microorganismos se pueden determinar por el método del Número más Probable expresada en 100 ml (NMP/100 ml), consiste en la capacidad de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos a 35 °C durante 48 horas

empleando un sustrato que contenga sales biliares. Otro método es la filtración por membrana que consiste en obtener colonias oscuras con brillo metálico en un medio de cultivo de Agar Endo en un periodo de 24 horas; este método comprende un procedimiento inmersamente reproducible para analizar volúmenes grandes alcanzando resultados en un menor tiempo (Páez, 2008).

Los coliformes totales son adsorbidos por la raíz de la especie vegetal y la relación entre coliforme y planta se da a los siete días, reduciendo su concentración hasta por debajo de los LMP (León *et al.*, 2018).

- Coliformes fecales (CF)

Son agentes patógenos que se transmiten por heces humanas y la ingestión de las aguas contaminadas, varios actores describen a los coliformes fecales como indicadores de contaminación bacteriológica (Olivas *et al.*, 2011). Comprenden bacterias gramnegativas que en condiciones anaerobias o anaerobios facultativos fermentan la lactosa en forma de gas cuando se incuban a 45 °C; asimismo, se denominan coliformes termotolerantes debido a que soportan altas temperaturas de incubación de 44,5 °C, entre los géneros representativos están la *Escherichia* y *Klebsiella*, por ejemplo, la especie *Escherichia coli* es considerada como microorganismos indicadores de contaminación fecal (García y Iannacone, 2014).

Se determina mediante el método de Número más Probable expresado en 100 ml (NMP/100 ml) ejecutándose mediante tubos positivos de pruebas presuntivas fundamentándose en la capacidad de que estos microorganismos son capaces de fermentar la lactosa y producir como resultado gas cuando se incuban a una temperatura de 44,5 °C en periodo de 24 horas a 48 horas (Camacho *et al.*, 2009). También se puede analizar por el método de filtración por membrana obteniendo colonias de bacterias en medio de cultivo Endo encubado a una temperatura de 44,5 °C (Páez, 2008).

### 1.2.2. Límites máximos permisibles

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) son el grado de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas que califican a los efluentes, que si sobrepasan ciertos límites puede causar daño al ambiente y ser humano (Tabla 1), a nivel nacional el responsable de supervisar y fiscalizar el cumplimiento de los LMP es el Ministerio del Ambiente [MINAM] (Rojas, 2018).

**Tabla 1**

*LMP para efluentes de aguas residuales domésticas*

Parámetro	Aceites y grasas	Coliformes termotolerantes	BBO <sub>5</sub>	DQO	PH	STS	Temperatura
Unidad	mg/l	NMP/100 ml	mg/l	mg/l	unidad	mg/l	°C
LMP de efluentes vertidos a cuerpos de agua	20	10 000	100	200	6,5 – 8,5	150	< 35

*Nota.* Elaboración propia a partir del D.S. N° 003–2010–MINAM. Decreto que Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf)

### 1.2.3. Poza de oxidación

Llamadas también pozas de estabilización, comprenden pozos cuadrados o rectangulares no profundos (menores a 5 metros), con geo membrana en el fondo para evitar lixiviaciones, donde la eficiencia de remoción de contaminantes depende de las condiciones climáticas (Comisión Nacional del Agua [CNA], 2007). En tanto Moeller *et al.* (2009) alegan que las pozas de estabilización son depósitos de agua residual construidos de concreto armado o simplemente en la misma tierra, con un borde libre entre 50 cm - 1 m y constituidas por dos pozas con flujo continuo mínimamente.

### Funcionamiento de las lagunas de oxidación

Las lagunas de oxidación tienen como función principal la remoción de los patógenos y estabilización de la materia orgánica de las aguas residuales (Mercado, 2013). El

tratamiento es eficiente, debido a que emplea recursos mínimos durante el diseño hasta la construcción y operación mantenimiento (Oakley, 2005).

Según Silva (2004) el funcionamiento de las pozas de oxidación depende básicamente de factores como:

- Penetración de la luminosidad: importante para los procesos aeróbicos en el agua residual.
- Profundidad de los depósitos: porque a mayor profundidad no llega la luz solar a toda el agua o en menor profundidad incrementa el número de plantas.
- Evaporación y precipitación: debido a que varía el volumen del agua residual haciendo una alteración al funcionamiento.
- Compactación del suelo: porque el agua puede filtrarse en el suelo causando una contaminación ambiental.
- Vientos: considerable para la aireación del agua residual en general.
- Plantas: porque emplean el anhídrido carbónico para su metabolismo dando como beneficio la liberación de oxígeno.

### **Ventajas y desventajas de las pozas de oxidación**

Vázquez (2016) manifiesta que las lagunas de oxidación en el tratamiento de aguas residuales poseen una sencillez y recursos económicos mínimos de manejar para su operatividad y mantenimiento. La Tabla 2 resalta las ventajas y desventajas de las lagunas de oxidación.

**Tabla 2***Ventajas y desventajas de las lagunas de oxidación*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajos costos durante la implementación (diseño, construcción, operación y mantenimiento).</li> <li>- Sencillo y fácil de comprender el funcionamiento.</li> <li>- Alta remoción de patógenos y materia orgánica.</li> <li>- Absorción de sustancias tóxicas y compuestos inorgánicos.</li> <li>- El agua tratada puede emplearse en algunas actividades de agricultura y acuicultura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizan una mayor extensión de área (terreno).</li> <li>- Contaminación de aguas naturales a causa de la infiltración del agua residual.</li> <li>- Generan contaminación odorífera, debido a la alta concentración de materia orgánica.</li> <li>- El tiempo de tratamiento va depender de factores como la temperatura, el viento, la nubosidad, etc.</li> <li>- El sistema de tratamiento se debe localizar a una distancia de 500 metros del casco urbano.</li> </ul>

*Nota.* Elaboración propia a partir de Cortés *et al.* (2017). Dimensionamiento de lagunas de estabilización. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

### **Clasificación de pozas de oxidación**

Correa (2008) refiere que las pozas de oxidación tienen una clasificación de acuerdo al proceso biológico, el lugar que ocupan y disposición de unidades (Tabla 3).

**Tabla 3***Clasificación de lagunas de estabilización*

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Alcance</b>
	Lagunas aeróbicas (0,5 – 1 m profundidad)	Preponderan procesos aeróbicos, notándose una concentración de organismos fotosintéticos que deben ser controladas a través de cosechas.
De acuerdo al proceso biológico	Lagunas anaeróbicas (2,5 – 5 m profundidad)	Prepondera la fermentación de procesos anaeróbicos, notándose por los olores putrefactos.
	Lagunas facultativas (1,5 – 2, 5 m profundidad)	Proceso inferior anaeróbico y superior aeróbico, produciendo una unión entre bacterias y algas.
	Lagunas de aireación (0,5 – 1 m profundidad)	Proceso que utiliza equipos aireadores en la superficie del agua.
De acuerdo al lugar que ocupan	Lagunas primarias	Recogen agua residual cruda del alcantarillado.
	Lagunas secundarias	Recogen agua residual con previo tratamiento del tratamiento primario.
	Lagunas de acabado	Recogen agua residual del tratamiento secundario para mejorar la calidad.
De acuerdo a la disposición de unidades	Lagunas en serie	Permiten mejorar la inocuidad bacteriológica del agua residual.
	Lagunas en paralelo	Permiten recargar una laguna hasta hacer la limpieza de otra.

*Nota.* Elaboración propia a partir de Silva (2004). Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI\\_119.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf)

### **Componentes de una laguna de oxidación**

Moeller *et al.* (2009) mencionan que las estructuras principales de una laguna de oxidación están conformadas por diez partes: desarenador + rejilla (1); caja de repartición (2); estructura de ingreso (3); volumen de agua residual recaudado (4); talud de concreto (5); canales (6); estructura de salida (7); segunda laguna de estabilización (8); ingreso de agua residual a la siguiente poza (9) y puertas de limpieza (10), tal como detalla la Figura 1.

## Figura 1

### Componentes de una laguna de oxidación



*Nota.* Los números del 1 al 10 representan la explicación gráfica de los componentes de una laguna de estabilización explicados en el párrafo anterior. Ilustración tomada de Moeller *et al.* (2009). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento-de-lodos-activados>

### Parámetros de control en pozas de oxidación

Los parámetros a tener en cuenta para el tratamiento de agua residual están en la Tabla 4.

**Tabla 4**

#### Parámetros de control en lagunas de estabilización

Parámetro	Tipo de laguna		
	Anaeróbica	Facultativa	Maduración
- Profundidad (m)*	2,5 – 5	1,8 – 2,5	1 – 1,5
- Retención (día)*	10 – 20	7 - 10	5 - 20
- Color	Café	Oscuro verde	Oscuro verde
- Olor	Sí	No	No
- pH	6,5 – 7, 5	8 – 9	8 – 9
- T agua (°C)	20 – 25	20 – 25	20 – 25
- T ambiental (°C)	18 – 35	18 – 35	18 – 35
- OD (mg/l)	0	> 6	6 – 35
- SS (mg/l)	80 – 160	40 – 100	10 – 30

*Nota.* T°. Temperatura, OD. Oxígeno disuelto, SS. Solidos suspendidos entre microorganismos, algas y sólidos. Elaboración propia a partir de \*Correa (2008) y Moeller *et al.* (2009). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento-de-lodos-activados>

#### **1.2.4. Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de las aguas residuales es un conjunto de métodos físicos, químicos y biológicos, la complejidad de su depuración depende con la disposición final del recurso, ya sea para su reúso en riego o verterlos a cuerpos de agua natural (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009). La selección de la tecnología a usar para tratar agua residual depende de muchos factores; por ejemplo, las características del agua residual, el costo, tiempo de depuración, espacio, etc., siendo las tecnologías de procesos naturales consideradas en diferentes países como la mejor opción pese a requerir grandes áreas de terreno, pero no requieren mucha energía y los costos de construcción, operación y mantenimiento son reducidos (Duncan, 2004).

Según Palomino y Ballón (2007), para el tratamiento de aguas residuales existen tres métodos:

##### **Métodos físicos**

Fueron los primeros en ser empleados en el tratamiento de agua residual, pueden ser observados directamente por el hombre y su aplicación requiere de fuerza física, algunos de los métodos físicos son la sedimentación, tamizado, filtración, etc. (Días, 2015). La aplicación de métodos físicos cambia las características y propiedades del agua residual (Campoverde, 2017).

##### **Métodos químicos**

Emplean químicos para la remoción de contaminantes conocidos como unidades de procesos químicos, algunos de los métodos empleados son la precipitación, electrodiálisis, adsorción, etc. (Días, 2015). Por otro lado, este método produce reacciones químicas, eliminando agentes patógenos y sólidos totales (Campoverde, 2017).

## Métodos biológicos

Se basa en tratamiento de flujo controlado, donde se remedia el agua contaminada debido a la actividad asociada de microorganismo - planta (León y Lucero, 2009), también son tratamientos que emplea la actividad biológica que remueve principalmente sustancias orgánicas, tal como la biorremediación (Días, 2015).

La Tabla 5 muestra algunas tecnologías físicas, químicas y biológicas que se aplican para el tratamiento de agua residual.

**Tabla 5**

*Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales*

Tecnologías		Tratamiento de lodos
Físico – Químicos	Biológicos	
- Tamizado	- Aerobios	- Compostaje
- Filtración	- Anaerobios	- Tratamiento con cal
- Sedimentación	- Sistemas naturales	- Tratamiento térmico
- Flotación	- construidos	- Digestión anaeróbica y aeróbica.
- Adsorción		
- Absorción		
- Desorción		
- Oxidación química		
- Filtración con membranas		
- Coagulación- floculación		
- Precipitación		

*Nota.* Elaboración propia a partir de Noyola *et al.* (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. [http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia\\_Aguas\\_Residuales.pdf](http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf)

### 1.2.5. Fitorremediación

Tecnología ambientalmente amigable que emplea plantas para la remoción, degradación, estabilización, concentración o destrucción de contaminantes del agua residual producida por las actividades humanas (Agudelo *et al.*, 2005); la fitorremediación trata el agua residual mediante procesos biológicos, donde existe una asociación de planta y microorganismos (Gupta *et al.*, 2015).

Para Vera (2016) el tratamiento de aguas residuales en estanques empleando plantas acuáticas ha llamado la atención de muchos debido al gran potencial que tienen estas especies removiendo sustancias tóxicas, desde patógenos hasta metales pesados. La fitorremediación emplea el uso de macrófitas flotantes o sumergidas que muchas veces son consideradas como bioindicadores de calidad ambiental (Cirujano y Medina, 2002).

### **Mecanismos de la fitorremediación**

El mecanismo empleado en la descontaminación de agua residual depende del residuo a tratar y la macrófita acuática a emplear (Tabla 6).

**Tabla 6**

*Mecanismos en la fitorremediación*

<b>Mecanismo</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Característica</b>
Rizofiltración	Orgánico e inorgánico	Absorción de contaminantes a través de sus raíces.
Fitodegradación	Orgánico	Asociación de planta y microorganismo que degradan los contaminantes en compuestos menos tóxicos.
Fitoestabilización	Orgánico e inorgánico	Reducen la biodisponibilidad de contaminantes secuestrándolos o humidificándolos.
Fitoextracción	Inorgánico	Acumula los contaminantes.
Fitovolatilización	Orgánico e inorgánico	Emplea sus hojas para capturar y liberar contaminantes hacia la atmosfera.

*Nota.* Información tomada a partir de Ghosh y Singh (2005). Una revisión sobre la fitorremediación de metales pesados y la utilización de sus subproductos. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/AJEE/10262422.pdf>

### **Ventajas y desventajas de la fitorremediación**

Las ventajas y desventajas al emplear plantas naturales en el proceso de descontaminación están expuestas en la Tabla 7.

**Tabla 7***Ventajas y desventajas de la fitorremediación*

<b>Desventajas</b>	<b>Ventajas</b>
- Su eficiencia depende de las estaciones del año.	- Amigable con el ambiente.
- La acumulación de contaminantes regresa al ambiente.	- Aceptable por la población.
- Proceso lento.	- Tratamiento aplicable <i>in situ</i> y <i>ex situ</i> .
- Requiere grandes áreas de terreno.	- Costos bajos.
- Proliferación de mosquitos en algunos casos.	- Genera menos residuos secundarios.
- Restringido a lugares con baja concentración de contaminantes.	- No requiere equipos y personal altamente especializado.
- La introducción de especies no autóctonas puede afectar la biodiversidad.	- Asociación natural de plantas y microorganismo.

*Nota.* Información tomada a partir de Ghosh y Singh (2005). Una revisión sobre la fitorremediación de metales pesados y la utilización de sus subproductos. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/AJEE/10262422.pdf>

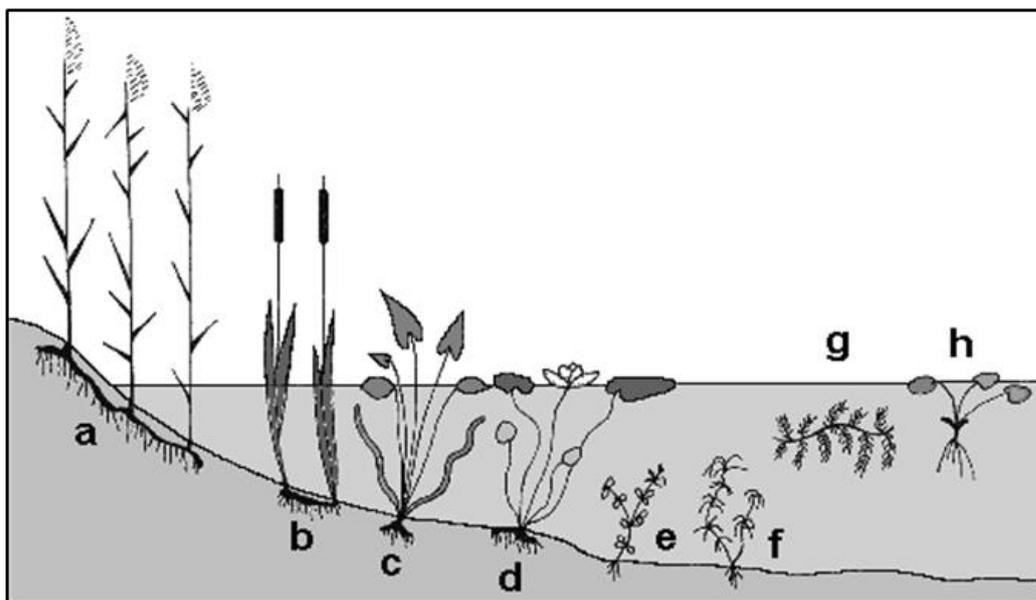
**1.2.6. Tipos de plantas acuáticas**

Llamadas también macrófitas, estas plantas viven sumergidas o flotando en cuerpos de agua como lagos, charcos, quebradas, ríos, etc.; desarrollando procesos fotosintéticos (Ramírez y Paredes, 2019). Asimismo, requieren abundante agua y necesitan las mismas condiciones nutricionales que las plantas terrestres (León y Lucero, 2009).

Se presentan diversas plantas acuáticas para tratar aguas residuales, su empleo depende del diseño de tratamiento y estas se clasifican en emergentes, sumergidas y flotantes (Muñoz y Vasquez, 2020). Los datos presentados en la Figura 2 y la Tabla 8 muestran la clasificación de las plantas macrófitas.

## Figura 2

### Clasificación de macrófitas acuáticas



Nota. **ab.** Emergentes, **cd.** Arraigadas con hojas flotantes, **ef.** Arraigadas totalmente sumergidas, **g.** Libre sumergida y **h.** Libre flotante. Ilustración tomada de Camefort (1972, citado por Gonzales, 2013). Morfología de plantas vasculares. [http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3\\_4hidrofitas.htm](http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3_4hidrofitas.htm)

## Tabla 8

### Clasificación de macrófitas acuáticas

Clasificación	Alcance
- Emergentes	Enraizada en los sedimentos, con tallos y hojas aéreas que se desarrollan sobre la superficie del agua.
- Arraigadas con hojas flotantes	Especies enraizadas en los sedimentos, donde sus pecíolos logran alcanzar la superficie del agua y sus hojas flotan.
- Arraigadas totalmente sumergidas	Especies enraizadas en los sedimentos por debajo de la superficie del agua.
- Libre sumergida	Plantas macrófitas que se encuentran libres y bajo la superficie del agua sin tocar el fondo.
- Libre flotante	Plantas macrófitas con hojas por encima de la superficie del agua y raíces flotantes.

Nota. Elaboración propia a partir de Schneider (2016). Ensamblajes de macrófitas en ambientes de la llanura aluvial del Río Paraná Medio: factores que inciden a distintas escalas. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1185/Tesis.pdf>

## Emergentes

Plantas que tienen sus raíces, parte del tallo y hojas sumergidas en el agua, pero la mayor parte de su cuerpo fuera del agua; por ejemplo, *Alisma lanceolatum* With., *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud y *Typha dominguensis* Pers. (Muñoz y Vasquez, 2020).

## **Sumergidas**

Plantas con las raíces en el sustrato (suelo), con la mayor parte de su cuerpo sumergido en el agua dejando las flores y hojas flotando en el agua (Muñoz y Vasquez, 2020).

## **Flotantes**

Plantas con la mayor parte de su cuerpo flotando en el agua sin sustrato, suelen reproducirse muy rápido en climas cálidos, pues necesitan de los rayos del sol para su proceso de fotosíntesis (Poveda, 2014). León y Lucero (2009) afirman que las raíces de las plantas flotantes sirven como sustrato para las bacterias presentes en el agua a tratar, algunas de estas plantas son las especies *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Salvinia* spp. Kuhn, *Lemna minor* L. y otras.

### **1.2.7. Propiedades de las plantas acuáticas**

Las plantas acuáticas son muy importantes en el tratamiento de agua residual con sistemas biológicos, el papel de estas macrófitas es airear el sistema, absorber sustancias orgánicas e inorgánicas, filtrar el agua a través de sus raíces y por lo tanto eliminar sustancias tóxicas del agua (León y Lucero, 2009). Asimismo, Hidalgo *et al.* (2005) consideran que, estas especies macrófitas depuran las sustancias contaminantes del agua a través de mecanismos como el filtrado, sedimentación de sustancias sólidas, asimilación de nutrientes por las plantas y posteriormente la degradación de la materia orgánica por un conjunto de microorganismos mancomunados con las raíces de las macrófitas.

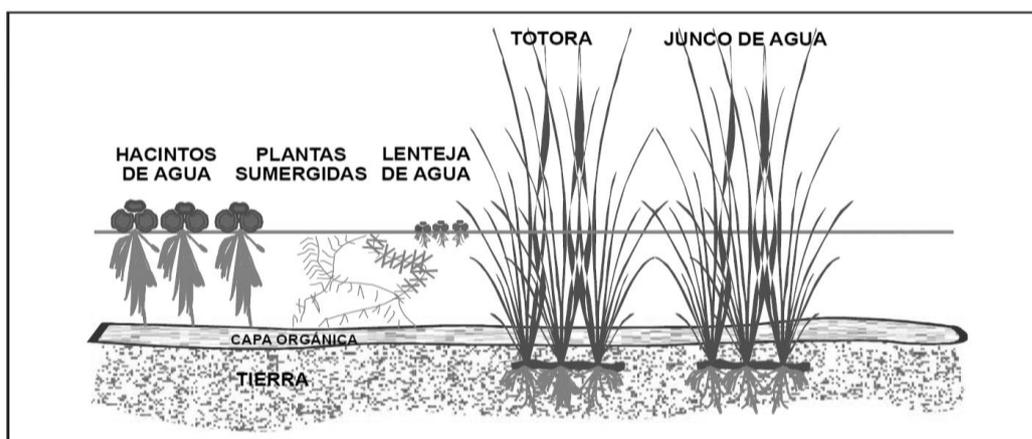
Las especies empleadas para el tratamiento de aguas contaminadas deben ser especies adaptadas a su clima local, capaces de circular el O<sub>2</sub> desde las hojas hasta sus raíces, especies tolerantes a concentraciones altas de sustancias tóxicas, al aforo asimilador de contaminantes, si son tolerantes a ambientes con climas variados, resistentes a parásitos y enfermedades, así como su fácil manejo (Fernández *et al.*, 2014).

### 1.2.8. Especies macrófitas

Vera (2016) a lo largo del tiempo ha desarrollado investigaciones empleando especies vegetales con la finalidad de descubrir el porcentaje de remoción que pueden lograr durante el tratamiento de agua residual, las especies más utilizadas son *Lemna* spp. L. “Lenteja de agua”, *Azolla* spp. Lam. “Helecho de agua” y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms “Lirio de agua”. Pero Arias *et al.* (2010) indican que las especies como *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. “Lirio de agua”, *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. “Redondita de agua”, *Salvinia* spp. Adans “Acordeón de agua”, *Pistia stratiotes* L. “Lechuga de agua” y *Lemna* spp. L. “Lenteja de agua” son las que más sobresalen en el tratamiento de aguas residuales. La Figura 3 muestra las plantas comunes en el tratamiento de aguas residual.

**Figura 3**

*Macrófitas comunes*



*Nota.* Ilustración tomada de Llagas y Guadalupe (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. 17(15) p. 89. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>

### *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. “Redondita de agua”

Según Delgadillo (2012) los estudios de esta especie vegetal se basan en su composición, su crecimiento, propagación, proceso fotosintético y eliminación; ya que, para muchos representa una maleza. Esta macrófita acuática se encuentra dentro de la siguiente clasificación (Tabla 9).

## Tabla 9

Clasificación taxonómica de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

Categoría	Nombre
Nombre científico	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.
Familia	Apiacea
Clase	Magnoliopsida
Orden	Apiales
Género	<i>Hydrocotyle</i>

*Nota.* Tomado de Masache (2016). Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (*Pistia stratiotes* L) y (*Hydrocotyle ranunculoides* L. f) en el tratamiento de las aguas contaminadas por la porcicultura en la granja “el guayabal” del barrio Nambija Bajo, Cantón Zamora. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17761>

La especie vegetal *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. también llamada “sombrerillo de agua”, es una macrófita enraizada emergente que crece en aguas poco profundas tanto con corriente o sin corriente, es extremadamente resistente a la contaminación; además, de ser indicador útil porque soporta altas concentraciones de materia orgánica, nitratos y fosfatos (Zarazúa *et al.*, 2013). Bonilla y Novelo (1995) describen a esta especie como una planta herbácea de 5 a 25 cm de altura, tallo rastrero o flotante, con hojas reniformes, sin bulbo, flores ovaladas simples dispuestas en espiral, pedúnculo amarillo, fruto lateral aplanado circular descendente o lateral ovalado verde y que habita en los bordes de lagos, arroyos y canales; además, que se arraiga en sedimentos poco profundos o saturados de agua a una profundidad de 15 cm.

### ***Lemna minor* L. “Lenteja de agua”**

Esta macrófita flotante es empleada comúnmente en la remediación de aguas residuales, presenta alta eficiencia en la remoción de materia orgánica, es económica y es utilizada como sustrato concentrado de proteínas para el consumo animal; asimismo, estas son aprovechada para obtener biocombustibles debido al rápido crecimiento en el número de biomasa (Plate, 2019). Esta macrófita acuática se encuentra dentro de la siguiente clasificación (Tabla 10).

**Tabla 10***Clasificación taxonómica de Lemna minor L.*

<b>Categoría</b>	<b>Nombre</b>
Nombre científico	<i>Lemna minor</i> L.
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Arales
Familia	Lemnaceae
Genero	<i>Lemna</i>

*Nota.* Tomado de Jaramillo y Flores (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>

La especie vegetal *Lemna minor* L. también llamada “lenteja de agua”, es una planta de angiospermas que no presenta diferencia entre tallo y hoja, es de color verde, flores individuales, raíz blanca y de tamaño pequeño (2 - 4 mm de largo y 2 mm de ancho), representando a las más pequeñas del reino vegetal; asimismo, se reproducen comúnmente de forma asexual por gemación desarrollando brotes en el borde basal generando nuevas plantas que se separan de la planta madre (Arroyave, 2004).

Esta especie es encontrada en diferentes espacios como lagos, pantanos y ríos lénticos, se distribuyen en regiones tropicales y subtropicales; crecen a temperaturas de 5 a 30 °C alcanzando un crecimiento óptimo a los 15 - 18 °C, el crecimiento óptimo depende de nutrientes con alto contenido de nitrógeno y fosfato, pero un alto contenido de hierro afecta su desarrollo; por último, esta macrófita soporta pH de 4,5 – 7,5 (Arroyave, 2004).

## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Diseño de la investigación**

La investigación mostró un enfoque cuantitativo, ya que presentó datos numéricos recopilados de los análisis del agua residual antes y después de los tratamientos, tuvo alcance descriptivo-explicativo; porque presentó las características más importantes de cada etapa del estudio estableciendo causas; asimismo, tuvo un diseño experimental del tipo pre-experimental, pues consideró la medición de variables dependientes (parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de agua residual tratada) a partir de variables independientes (especies macrófitas) (Hernández *et al.*, 2014).

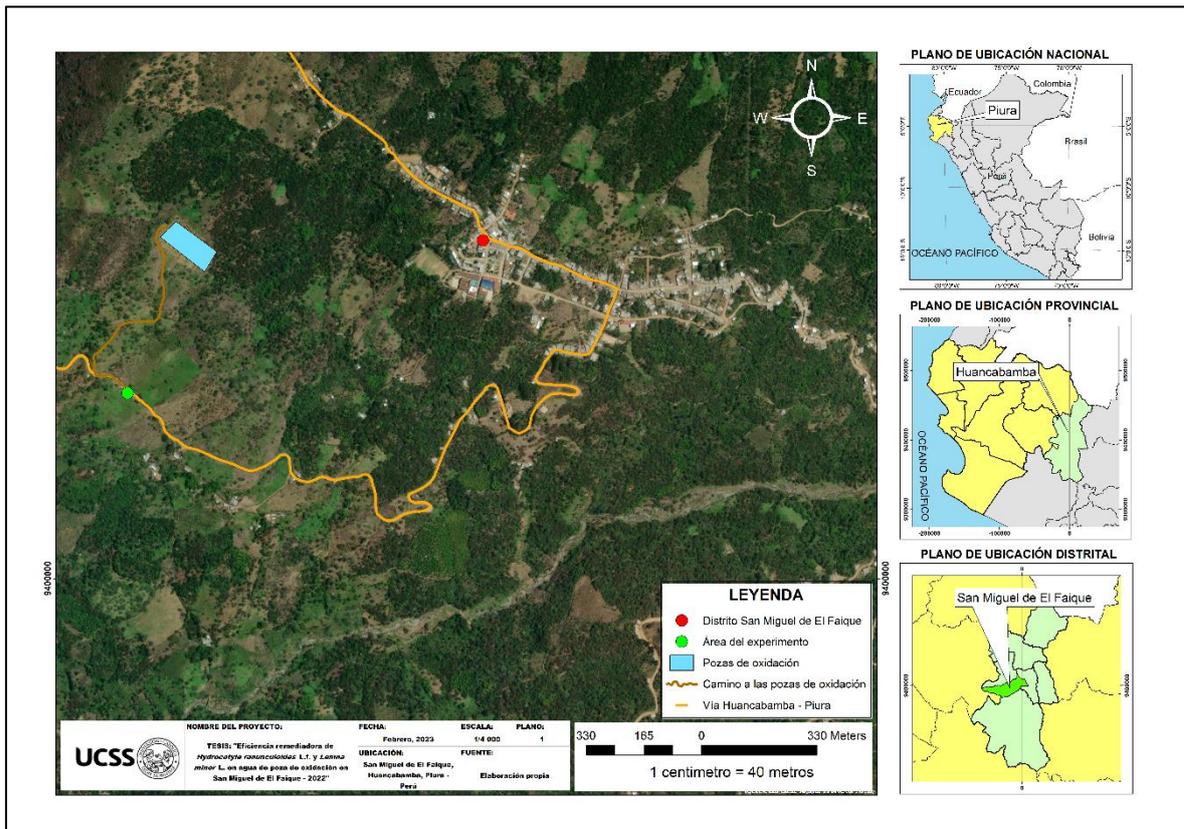
### **2.2. Lugar y fecha**

El trabajo de investigación tuvo lugar en el distrito San Miguel de El Faique, provincia de Huancabamba, departamento Piura. El distrito tiene varias capas ecológicas (cálidas, templadas y frías) en función de la altitud presentando dos épocas, verano con lluvias (enero - abril) y verano con sol (junio - diciembre); empezando las lluvias en el mes de diciembre hasta mediados del mes de abril (Ibáñez, 2014).

El distrito San Miguel de El Faique está ubicado entre las coordenadas UTM 654422,27 E, 9402734,94 S a una altitud de 1 056 m s.n.m. (Apéndice 1). La ubicación geográfica del área donde se desarrolló la investigación experimental se encuentra entre las coordenadas UTM 653404,64 E y 9402258,84 S (Figura 4); el área fue considerada por la accesibilidad para el monitoreo constante de las unidades experimentales.

**Figura 4**

*Ubicación geográfica de la investigación*



*Nota.* El mapa muestra una representación geográfica del lugar donde se realizó la parte experimental de la investigación en el distrito de San Miguel de El Faique.

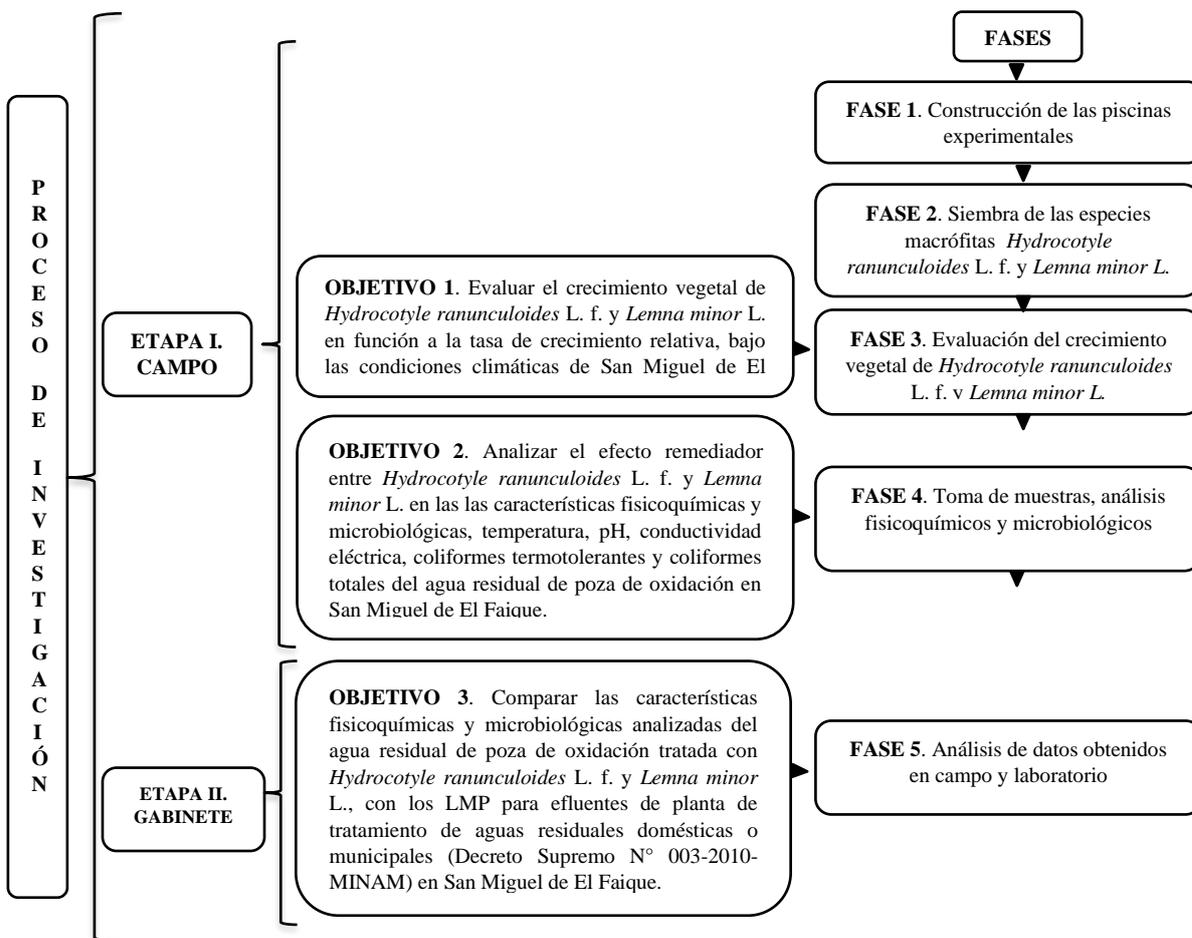
El desarrollo de la investigación inició el 31 de enero de 2022 con la compra de materiales y herramientas, y culminó el 18 abril de 2022; tuvo una duración de 11 semanas periodo en el que se ejecutó la parte experimental de la investigación.

### 2.3. Descripción del experimento

El experimento fue realizado en condiciones ambientales. Se evaluó la eficiencia de dos macrófitas (*Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L.) para remediar aguas residuales de una poza de oxidación considerando diversas fuentes bibliográficas para su correcta ejecución. La Figura 5 muestra el proceso de investigación.

**Figura 5**

*Etapas de la investigación*



### 2.3.1. Etapa I. Campo

Esta etapa fue trabajada en cuatro fases.

#### Fase 1. Construcción de las piscinas experimentales

El experimento fue desarrollado en área total de 16 m<sup>2</sup> en las que se desarrollaron las siguientes actividades:

**a. Selección de sitio y limpieza de terreno.** El lugar seleccionado fue un terreno ubicado en el sector Villa Flor – San Miguel de El Faique cerca de las pozas de oxidación y lejos de las fuentes de agua naturales. La limpieza del terreno consistió en retirar materiales ajenos al experimento como ramas secas y rocas, nivelando el terreno (Figura 6).

## Figura 6

### Limpieza de terreno

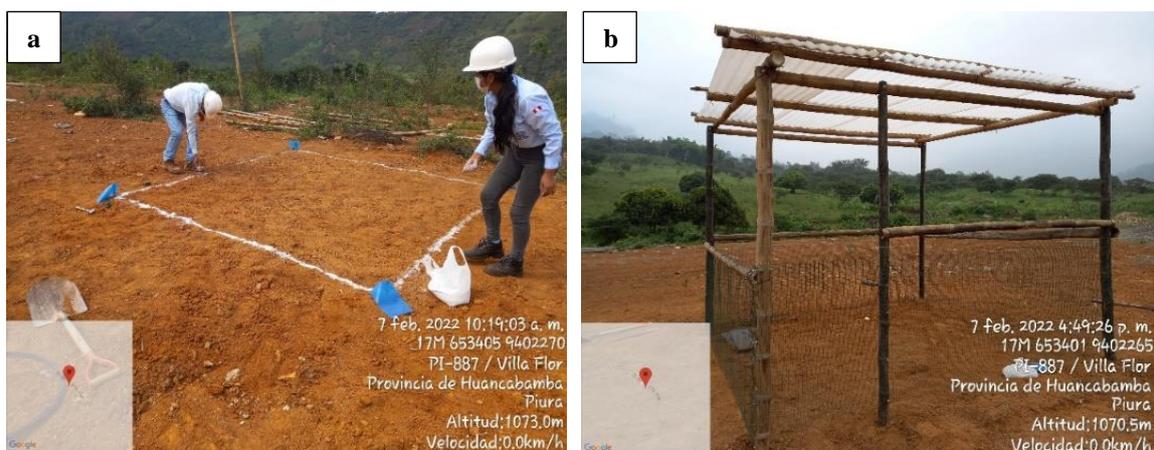


Nota. a. Predio para el experimento y b. Retiro de materiales del predio.

**b. Delimitación del terreno y construcción de techo.** Consistió en delimitar el terreno (16 m<sup>2</sup>), del cual en un área de 9 m<sup>2</sup> fue construido un techo tipo invernadero de 2,30 m de altura del nivel del suelo utilizando calamina traslúcida, guayaquil y alambre de amarre. El perímetro del área del techo fue cerrado con 12 m de malla jardín hasta una altura de 1,5 m, con el fin de evitar el ingreso de animales que puedan alterar el proceso de investigación; Figura 7.

## Figura 7

### Delimitación del terreno y construcción del techo



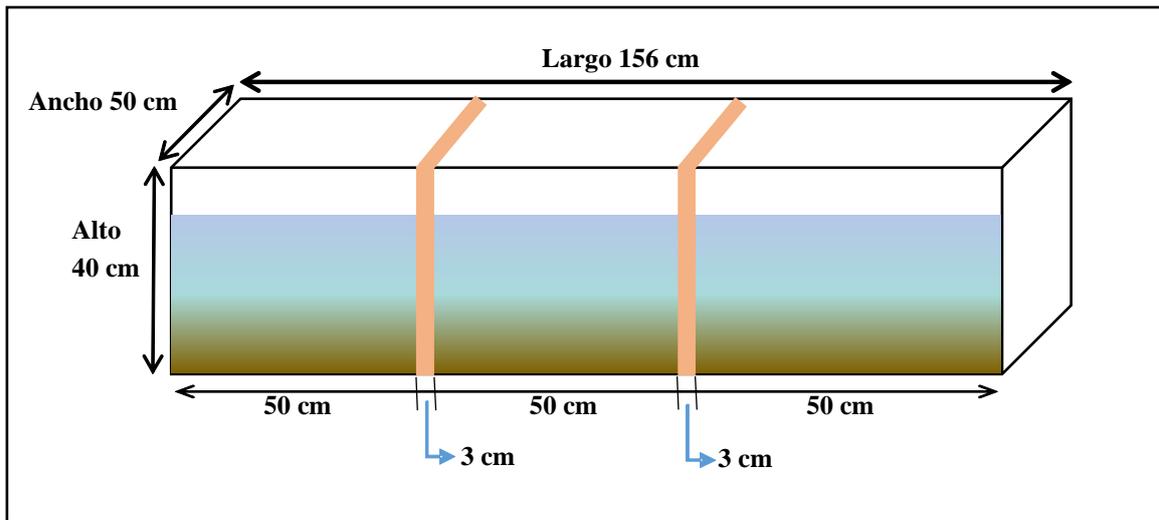
Nota. a. Delimitación del terreno y b. Construcción del techo.

**c. Dimensionamiento y construcción de las piscinas experimentales.** Las piscinas fueron construidas en función a las metodologías propuestas por Gualán (2016) y Masache

(2016), que consistió en realizar una excavación de dos hoyos de 40 cm de profundidad, 50 cm de ancho y 156 cm de largo. Los hoyos fueron divididos con una madera de 3 cm de grosor, dando lugar a la creación de tres unidades experimentales a partir de una piscina experimental (Figura 8). Para evitar que las aguas residuales filtren al suelo, fue colocada una capa de geo membrana en el fondo y cubierto con plástico mellizo negro (Figura 9).

**Figura 8**

*Diseño de dimensionamiento de las piscinas experimentales*



**Figura 9**

*Dimensionamiento y construcción de las piscinas experimentales*



*Nota.* **a.** Dimensionamiento, **b.** Excavación, **c.** División y **d.** Impermeabilidad.

## Fase 2. Siembra de las especies macrófitas

En esta fase fueron trabajadas las siguientes actividades.

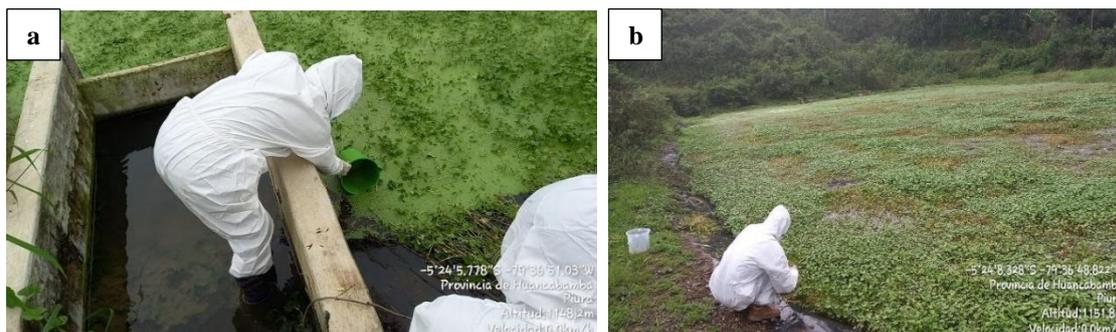
**a. Recolección de las especies macrófitas.** Las plantas de *Lemna minor* L. y *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. fueron recolectadas de la primera y tercera poza de oxidación, respectivamente, ubicada en el sector Villa Flor del distrito San Miguel de El Faique en las coordenadas UTM; poza 1: 653617,63 E y 9402693,11 S, poza 3: 653539,87 E y 9402758,63 S con una altitud de 1 148,2 m s.n.m. (Figura 10); en función de las recomendaciones propuestas por Jaramillo y Flores (2012), y Huamán y Rumaja (2017):

- Especies con buena pigmentación (L-H).
- Sin presencia de anomalías en sus hojas, tallo y raíz (L-H).
- Especies jóvenes (L-H).
- Plantas con buen espesor radicular (H).

Las especies vegetales fueron transportadas en dos baldes de plástico de 6 litros cada uno hasta el área del experimento.

### Figura 10

Recolección de las especies macrófitas



Nota. a. Especies vegetales de *Lemna minor* L. y b. Especies vegetales de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

**b. Acondicionamiento de las especies macrófitas.** Consistió en dejar las especies vegetales en un recipiente con agua potable durante dos días (Figura 11), para eliminar sustancias extrañas, ello en función a las metodologías propuestas por Gualán (2016) y Guerrero y Jibaja (2019).

**Figura 11**

*Acondicionamiento de las especies macrófitas*



*Nota.* Las especies vegetales que se encuentran en los baldes transparentes son plantas de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y en el lavador especies de *Lemna minor* L.

**c. Siembra de las especies macrófitas.** La siembra de las especies fue en función a las metodologías propuestas por Gualán (2016) y Masache (2016) que consistió en agregar 5 cm de piedra mediana, 5 cm de grava triturada, 6 cm de tierra y 48 litros de agua residual hasta el 80 % del volumen total de las unidades experimentales (Figura 12). En la U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub> y U<sub>3</sub> fueron sembradas 42 g de *Lemna minor* L. y en la U<sub>4</sub>, U<sub>5</sub> y U<sub>6</sub> 26 g de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. La Figura 13 y 14 muestran el proceso de siembra de las especies macrófitas.

**Figura 12**

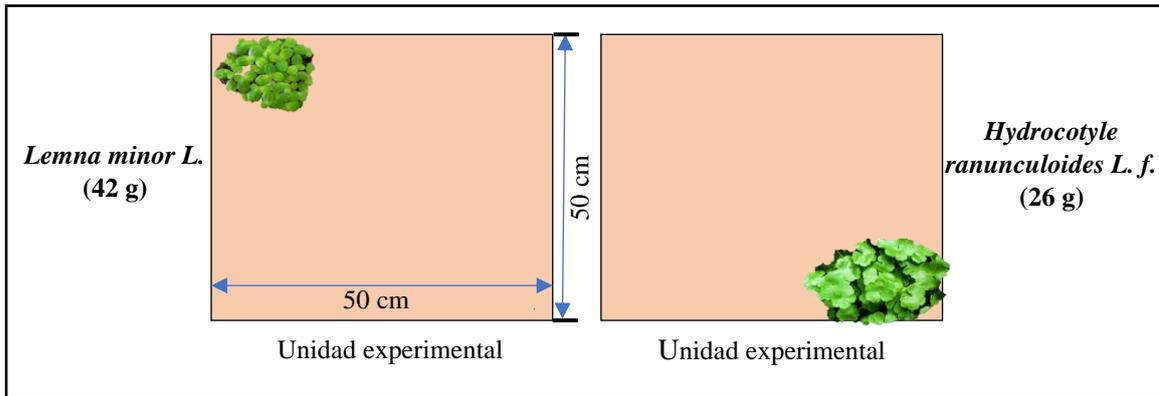
*Colocación de agregados y agua residual a las unidades experimentales*



*Nota.* **a.** Colocación de piedra mediana, **b.** Colocación de grava, **c.** Tierra y **d.** Llenado de unidades experimentales con agua residual.

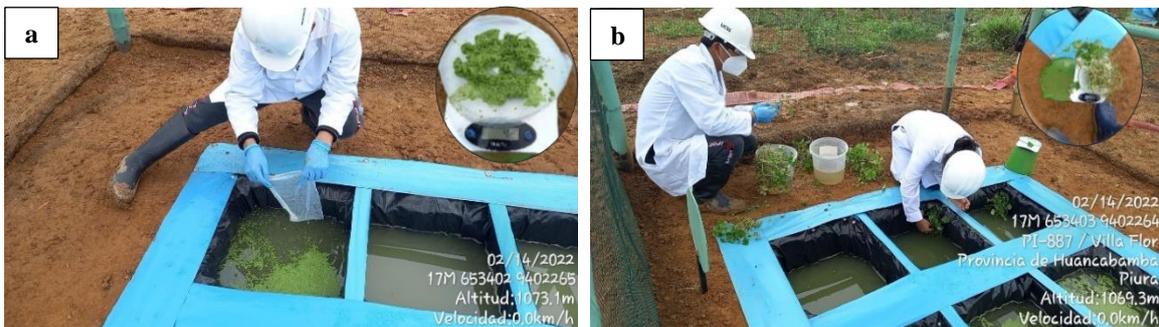
**Figura 13**

*Diseño de siembra de las especies macrófitas*



**Figura 14**

*Siembra de las especies macrófitas*



Nota. a. Siembra de *Lemna minor* L. y b. Siembra de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

**d. Adaptación de las especies macrófitas.** Esta actividad tuvo una duración de 21 días, con el objetivo de hacer seguimiento de la sobrevivencia de *Lemna minor* L. y *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. en cada unidad experimental con visitas cada siete días (Figura 15).

## Figura 15

### Seguimiento de sobrevivencia de las especies macrófitas



Nota. a. 07 días, b. 14 días y c. 21 días.

### Fase 3. Evaluación del crecimiento vegetal

Consistió en evaluar el crecimiento vegetal de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. desde el primer día de siembra hasta el último día de monitoreo para cumplir con el Objetivo 1.

a. *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. La especie vegetal fue pesada (peso fresco) en una balanza gramera antes y después del tratamiento del agua residual de poza de oxidación (Figura 16).

b. *Lemna minor* L. La especie macrófita fue pesada (peso fresco) en una balanza gramera antes de la siembra y al finalizar el monitoreo (Figura 17).

**Figura 16**

*Peso de Hydrocotyle ranunculoides L. f.*



**Figura 17**

*Peso de Lemna minor L.*



#### **Fase 4. Toma de muestras, análisis fisicoquímicos y microbiológicos**

La fase cuatro tuvo las siguientes actividades que llevaron a cumplir con el Objetivo 2.

**a. Toma de muestras.** Fue una muestra compuesta (agua residual sin tratamiento) y 18 muestras simples (agua residual con tratamiento), como detalla la Tabla 11 y Figura 18. Para la toma de muestras se tuvo en cuenta los procedimientos para monitorear la calidad de las aguas residuales domésticas o municipales en efluentes de plantas de tratamiento (R.M. N° 273-2013-Vivienda) y el protocolo “toma de muestras de agua” del laboratorio EQUAS S.A.

La muestra de agua residual sin tratar fue tomada a 10 cm de la parte superficial de las piscinas experimentales obteniendo 1 000 ml de agua residual en una jarra, de la cual se distribuyó 250 ml en un frasco de vidrio esterilizado y etiquetado, preservado a 4 °C en un corcho y transportado hasta el laboratorio dentro de las 24 horas para el análisis de coliformes termotolerantes y totales. Con la muestra restante se procedió a medir el pH, temperatura y conductividad eléctrica a 4 cm de la superficie. Las muestras de agua residual tratada fueron tomadas en la parte superficial a 10 cm de profundidad del área donde hubo mayor presencia de vegetación macrófita. Las 18 muestras restantes fueron tomadas y analizadas de la misma forma que la primera muestra.

**Tabla 11**

*Frecuencia de muestreo*

N° muestreos	Material	Contenido	Fecha de muestreo
Primer muestreo	1 frasco de vidrio	Una muestra de agua residual sin tratamiento	14 de febrero de 2022
Segundo muestreo	6 frascos de vidrio	Seis muestras de agua residual con tratamiento	21 de marzo de 2022
Tercer muestreo	6 frascos de vidrio	Seis muestras de agua residual con tratamiento	06 de abril de 2022
Cuarto muestreo	6 frascos de vidrio	Seis muestras de agua residual con tratamiento	18 de abril de 2022

**Figura 18**

*Toma de muestras*



Los Apéndices 2, 3 y 4 muestran las fichas de campo, cadenas custodia, informes de análisis, respectivamente.

**b. Análisis de muestras de campo.** El equipo empleado fue un multiparámetro marca HANNA y modelo HI 98129 para determinar la temperatura, pH y conductividad eléctrica en cada muestreo. El procedimiento consistió de la siguiente manera.

- Obtenidas las muestras para los análisis de parámetros fisicoquímicos, el multiparámetro fue preparado para analizar las muestras respectivamente.
- Luego prosiguió la calibración del equipo antes de medir las muestras, el electrodo fue enjuagado con agua destilada en un vaso descartable con 50 ml de éste, se introdujo el electrodo, luego el equipo fue encendido y se esperó un 1' hasta que marcó un pH de 7,0.
- Una vez calibrado el equipo, fue introducido el electrodo en las muestras a 4 cm de la superficie.
- Después de un 1 minuto fueron tomados los datos de los parámetros fisicoquímicos en una hoja de campo expresado en unidades de °C (grados Celsius-temperatura), pH (unidades) y  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (conductividad eléctrica).
- Por último, se retiró el electrodo de las muestras y su posterior calibración para la siguiente toma de datos.

**c. Análisis de muestras en laboratorio.** La medición de parámetros microbiológicos fue analizada en el laboratorio Environmental Quality Analytical Services - EQUAS S.A., siguiendo el método de ensayo APHA 9221 B para coliformes totales y el APHA 9221 E (ítem 1) para coliformes termotolerantes expresadas ambas en NMP/100 ml de acuerdo a lo establecido en los métodos estándares para el análisis de aguas y aguas residuales versión 23 de APHA, AWWA y WEF (2017).

**d. Monitoreo y seguimiento.** El proceso de observación, recolección de información y seguimiento del proceso de investigación fueron 63 días, para garantizar y evaluar el cumplimiento de los objetivos propuestos.

### 2.3.2. Etapa II. Gabinete

En esta etapa se analizó los datos obtenidos en campo y laboratorio para cumplir con el Objetivo 3.

#### Fase 5. Análisis de datos obtenido en campo y laboratorio

En esta fase se determinó el crecimiento vegetal de las especies macrófitas, la eficiencia de reducción u remoción y la comparación de los resultados con los LMP para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM).

**a. Crecimiento vegetal.** Comprendió el análisis de la tasa de crecimiento relativa de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f y *Lemna minor* L. en función al peso fresco y tiempo de tratamiento (Figura 19).

#### Figura 19

Ecuación de la tasa de crecimiento relativa

$$TCR = \frac{\ln Pf - \ln Pi}{t}$$

Donde:

TCR: Tasa de crecimiento relativa de la biomasa (día<sup>-1</sup>).

Ln: Logaritmo natural.

Pf: Peso final de la biomasa (g).

Pi: Peso inicial de la biomasa (g).

t: Tiempo (día).

*Nota.* Ecuación tomada de Quispe *et al.* (2019). Optimización de la Operación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales con *Hydrocotyle ranunculoides*. 20(9) p. 229. <https://doi.org/10.12911/22998993/112486>

**b. Grado de eficiencia.** Se realizó el análisis de la eficiencia de reducción u remoción de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. sobre la temperatura, pH, conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes y coliformes totales del agua residual (Figura 20).

## Figura 20

Ecuación de grado de eficiencia

$$e = \frac{FZ - FA}{FZ} \times 100$$

Donde:

e: Grado de eficiencia (%).

FZ: Sumatoria de las cargas al inicio del tratamiento.

FA: Sumatoria de las cargas al final del tratamiento.

*Nota.* Ecuación tomada de Briones (2019). Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli* en Celendín – Cajamarca. p. 22. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3459>

**c. Comparación de resultados.** Los datos obtenidos de las mediciones de campo y laboratorio, fueron comparados con los LMP del D.S. N° 003–2010–MINAM (Tabla 12).

**Tabla 12**

*Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a ser comparados con los LMP*

Parámetro	Unidad de medida	LMP
Temperatura	°C	< 35
pH	Unidad	6,5 – 8,5
Conductividad eléctrica	µS/cm	**
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	10 000
Coliformes totales	NMP/100 ml	**

*Nota.* \*\* valor que no aplica para este parámetro. Elaboración propia a partir del D.S. N° 003–2010–MINAM. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf)

## 2.4. Tratamientos

El estudio consistió en sistemas de tratamientos por tandas o flujo discontinuo que evaluó la remoción de contaminantes del agua residual de la segunda poza de oxidación del distrito San Miguel de El Faique. Cada sistema estuvo representado por una piscina experimental con tres repeticiones cada una que simuló a una pequeña laguna con agua estancada.

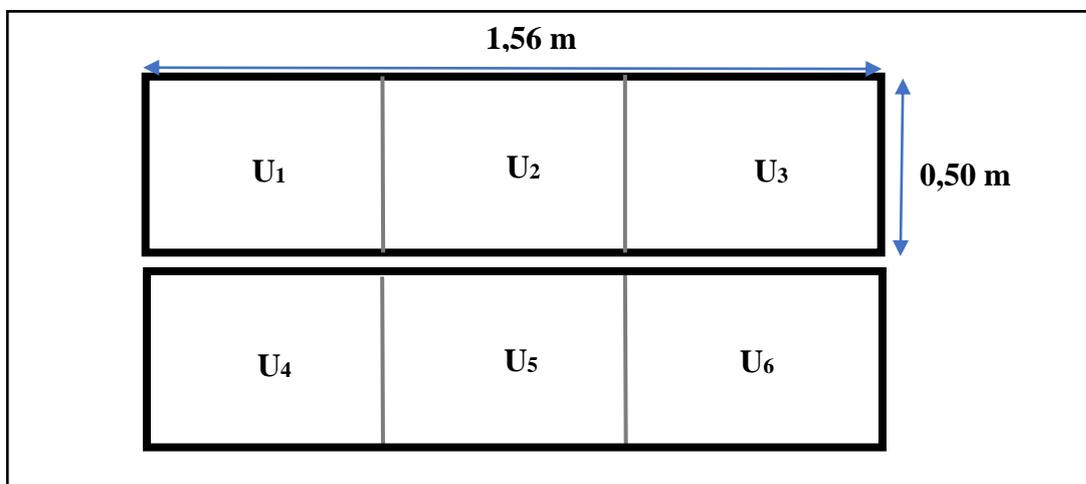
Los sistemas de tratamientos tuvieron las especies macrófitas *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L., los cuales fueron monitoreados en tres momentos (día 35, día 49 y día 63) (Tabla 13).

**Tabla 13***Tratamientos de la investigación*

<b>Tratamientos</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Descripción</b>
T1	R1	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. + agua residual
	R2	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. + agua residual
	R3	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. + agua residual
T2	R1	<i>Lemna minor</i> L. + agua residual
	R2	<i>Lemna minor</i> L. + agua residual
	R3	<i>Lemna minor</i> L. + agua residual

## 2.5. Unidades experimentales

El estudio tuvo dos piscinas experimentales con tres repeticiones cada uno; es decir, un total de seis unidades experimentales, tal como muestra la Figura 21. Cada unidad experimental fue cubierta con 48 litros de agua residual y la especie macrófita según tratamiento.

**Figura 21***Distribución de las unidades experimentales*

La Tabla 14 detalla las características del área experimental.

**Tabla 14***Características del área experimental*

<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medida</b>
Número de tratamientos	-	02
Repeticiones por tratamiento	-	03
Unidades experimentales	-	06
Ancho de la piscina experimental	m	0,50
Largo de la piscina experimental	m	1,56
Fondo de la piscina experimental	m	0,40
Área total de la piscina experimental	m <sup>2</sup>	0,78
Área de la unidad experimental	m <sup>2</sup>	0,25
Volumen de la piscina experimental	m <sup>3</sup>	0,312
Distancia de separación de unidades experimentales por tratamiento	m	0,03
Distancia de separación entre tratamientos	m	0,20
Cantidad de plantas de <i>Lemna minor</i> L. en una unidad experimental	g	42
Cantidad de plantas de <i>Lemna minor</i> L. por tratamiento	g	126
Cantidad de plantas de <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. en una unidad experimental	g	26
Cantidad de plantas de <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. por tratamiento	g	78
Área total del ensayo	m <sup>2</sup>	16

**2.6. Identificación de las variables y su mensuración**

En esta investigación fueron consideradas las siguientes variables (Tabla 15)

**Variables independientes**

- Especies vegetales o macrófitas: *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L.

**Variables dependientes**

- Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: Para efectos de esta investigación fue analizado la temperatura, pH, conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes y coliformes totales.
- Crecimiento vegetal: Evaluó la tasa de crecimiento relativa de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. en función del peso fresco inicial y final.

**Tabla 15***Variables de la investigación y su mensuración*

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mensuración</b>	<b>Metodología</b>
<b>Independientes (X)</b>				
- Especies macrófitas	<i>Hydrocotyle ranunculoides L. f.</i>	-	Nominal	
	<i>Lemna minor L.</i>	-	Nominal	
<b>Dependientes (Y)</b>				
				Cuantitativa
- Parámetros físicoquímicos	Temperatura	°C	Razón	
	pH	unidades	Razón	
	Conductividad eléctrica	µS/cm	Razón	
- Parámetros microbiológicos	Coliformes fecales	NMP/100 ml	Razón	
	Coliformes totales	NMP/100 ml	Razón	
- Crecimiento vegetal	Tasa de crecimiento relativa	día <sup>-1</sup>	Razón	

*Nota.* °C (Celcius), µS/cm (microsiemens/centimetro), NMP/100 ml (número más probable por 100 mililitros) y g (gramos).

## 2.7. Diseño estadístico del experimento

La presente investigación tuvo un diseño pre-experimental del tipo preprueba/posprueba, el cual consistió en la evaluación del agua residual previo al estímulo o tratamiento, luego se aplicó el tratamiento (incorporación de especies vegetales) y finalmente se realizó la evaluación del agua residual posterior a la aplicación de las especies vegetales. Las especies vegetales fueron *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* y *Lemna minor L.*

## 2.8. Análisis estadístico de datos

Primero, se evaluó el cumplimiento de la normalidad de los resultados a través de la prueba Shapiro-Wilk al 5 % de significancia. Posterior a ello, se utilizó el análisis estadístico T de Student al 5 % de significancia para determinar diferencias entre los tratamientos. Luego, se utilizó la estadística descriptiva mediante gráficos de líneas y barras. El procesamiento de la información fue realizado con el programa estadístico InfoStat v2020e.

## 2.9. Materiales

En el desarrollo de la investigación se utilizaron los materiales y equipos de la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Materiales y equipos*

<b>Material de campo</b>	<b>Material experimental</b>	<b>Equipos</b>	<b>Otros</b>
- Lapiceros, libreta de campo, tablero, geo membrana, guayaquil, malla jardín color verde, carteles, diecinueve frascos de vidrio de 250 ml, ocho calaminas translucidas, clavos 2 ½”, alambre de amarre, alambre de púas, dos baldes de 6 l c/u, ocho baldes de 20 l c/u, caja térmica de tecnopor, jarra de 1 l, colador, agua destilada, plástico mellizo negro, estacas de 10 cm, estacas de 60 cm, cinta de seguridad, dos palanas, dos barretas, martillo, alicate, tortol, nivel de manguera, machete, cordel, wincha.	- Agua residual de la poza de oxidación del distrito San Miguel de El Faique - <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. - <i>Lemna minor</i> L.	- Multiparámetro - GPS - Balanza gramera - Cámara fotográfica	- Equipos de protección personal (casco, mascarillas quirúrgicas, guantes quirúrgicos, mandil, botas de jebe).

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Crecimiento vegetal

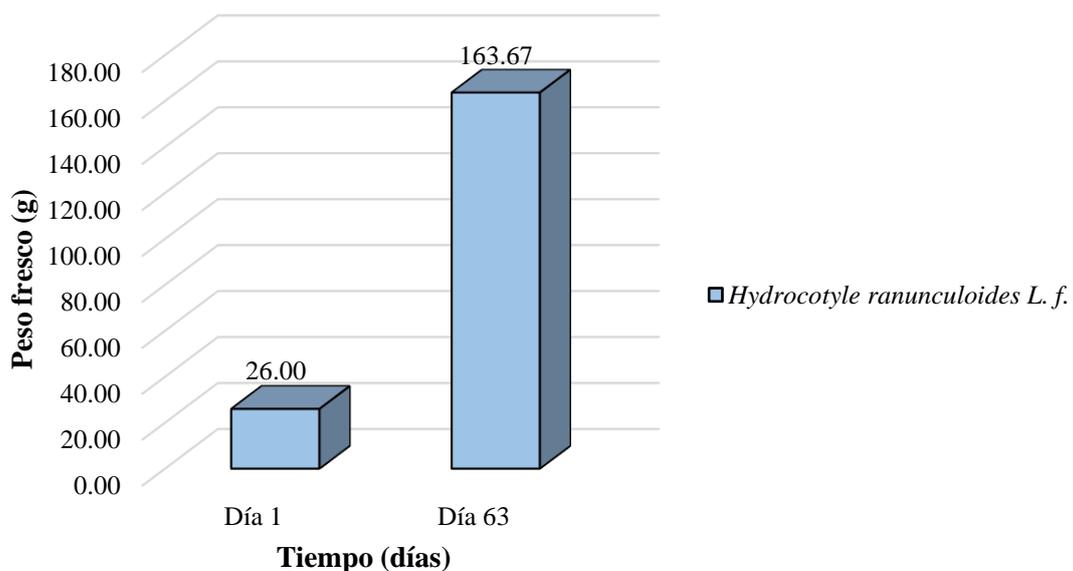
Se evaluó el crecimiento vegetal de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L por medio de la tasa de crecimiento relativa teniendo en consideración la biomasa inicial en el día 1 y final en el día 63.

#### 3.1.1. *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

La Figura 22 muestra el crecimiento vegetal de la macrófita *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. a los 63 días. El peso fresco promedio inicial fue de 26 g y el peso fresco promedio final fue de 163,7 g. El Apéndice 5 muestra los resultados del crecimiento vegetal de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

**Figura 22**

*Crecimiento vegetal de Hydrocotyle ranunculoides L. f.*



La Tabla 17 evidencia la tasa de crecimiento relativa promedio de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. con 0,0292 día<sup>-1</sup>, evaluado a los 63 días.

**Tabla 17**

*Tasa de crecimiento relativa de Hydrocotyle ranunculoides L. f.*

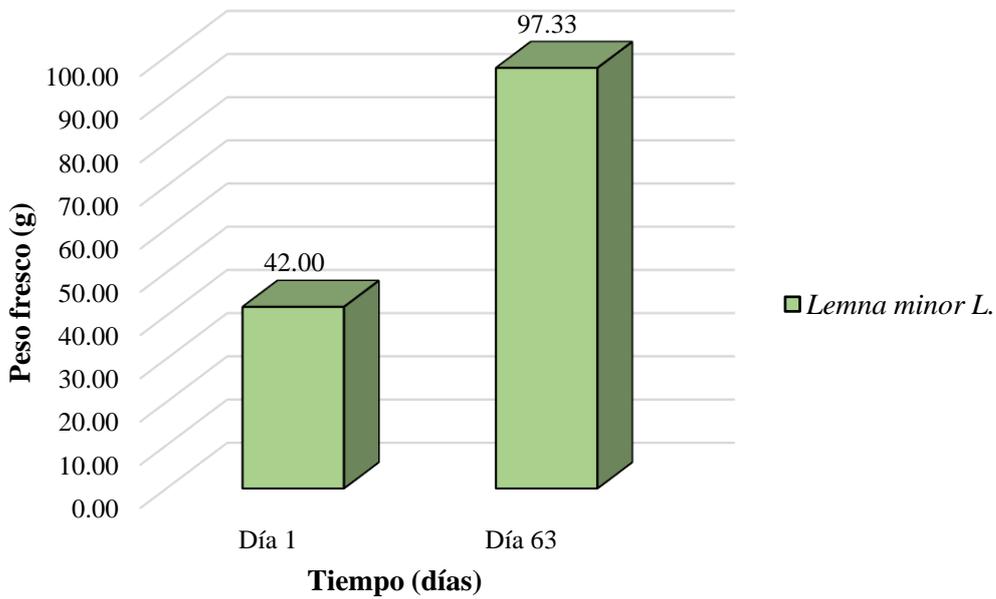
Tiempo (día)	Pi (g)	Pf (g)	TCR (día <sup>-1</sup> )
63	26,00	163,70	0,0292

**3.1.2. *Lemna minor* L.**

La Figura 23 muestra el crecimiento vegetal de la macrófita *Lemna minor* L. a los 63 días, el peso fresco promedio inicial que presentó fue de 42 g y el peso fresco promedio final fue 97,33 g. Asimismo, la Tabla 18 presenta los resultados de la tasa de crecimiento relativa promedio de *Lemna minor* L. 0,0133 día<sup>-1</sup>. El Apéndice 5 muestra los resultados del crecimiento vegetal de *Lemna minor* L.

**Figura 23**

*Crecimiento vegetal de Lemna minor L.*



**Tabla 18***Tasa de crecimiento relativa de Lemna minor L.*

Tiempo (día)	Pi (g)	Pf (g)	TCR (día <sup>-1</sup> )
63	42,00	97,33	0,0133

**3.2. Efecto remediador**

La Tabla 19 muestra los valores iniciales (día 1) y la evaluación de las variables dependientes en diferentes momentos (día 35, día 49 y día 63). Los resultados de los parámetros analizados de cada unidad experimental están en el Apéndice 6.

**Tabla 19***Niveles promedio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos durante el experimento*

Tratamientos	Tiempo (Días)	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos				
		Temperatura (°C)	pH (Unidades)	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Coliformes totales (NMP/100 ml)
Línea base	Día 1	20,80	7,53	1450	16000	350000
	Día 35	24,13	7,66	521	3157	52201
T1	Día 49	22,50	7,83	552	4478	41187
	Día 63	21,37	7,92	486	473	14697
T2	Día 35	24,40	7,40	498	1735	2653
	Día 49	22,17	7,33	491	191	4190
	Día 63	21,57	7,24	426	360	2487

En base a los resultados obtenidos se procedió a obtener el grado de eficiencia para cada parámetro, tal como detalla la Tabla 20, Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23 y Tabla 24.

**Tabla 20***Grado de eficiencia para la temperatura*

Tratamientos	FZ (Día 1)	FA (Día 63)	e (%)	
T1	20,8	R1	21	-1
		R2	21,5	-3
		R3	21,6	-4
T2	20,8	R1	21,8	-5
		R2	21,5	-3
		R3	21,4	-3

**Tabla 21***Grado de eficiencia para el pH*

Tratamientos	FZ (Día 1)		FA (Día 63)	e (%)
T1	7,53	R1	7,96	-6
		R2	7,93	-5
		R3	7,88	-5
T2	7,53	R1	7,19	5
		R2	7,41	2
		R3	7,12	5

**Tabla 22***Grado de eficiencia para la conductividad eléctrica*

Tratamientos	FZ (Día 1)		FA (Día 63)	e (%)
T1	1450	R1	515	64
		R2	554	62
		R3	389	73
T2	1450	R1	410	72
		R2	421	71
		R3	447	69

**Tabla 23***Grado de eficiencia para coliformes termotolerantes*

Tratamientos	FZ (Día 1)		FA (Día 63)	e (%)
T1	16000	R1	450	97
		R2	617	96
		R3	351	98
T2	16000	R1	299	98
		R2	329	98
		R3	452	97

**Tabla 24***Grado de eficiencia para coliformes totales*

Tratamientos	FZ (Día 1)		FA (Día 63)	e (%)
T1	350000	R1	13011	96
		R2	21879	94
		R3	9200	97
T2	350000	R1	1012	100
		R2	2123	99
		R3	4326	99

- **Temperatura**

La Tabla 25 muestra el análisis de la prueba T de Student aplicado para los resultados en cuanto a la eficiencia en la reducción de la temperatura del agua residual, demuestra que no existen diferencias estadísticas significativas a nivel de los tratamientos (T1 y T2). Los resultados de la temperatura del agua residual presentaron una distribución normal ( $p > 0,05$ ) según la prueba Shapiro-Wilk (Apéndice 7).

**Tabla 25**

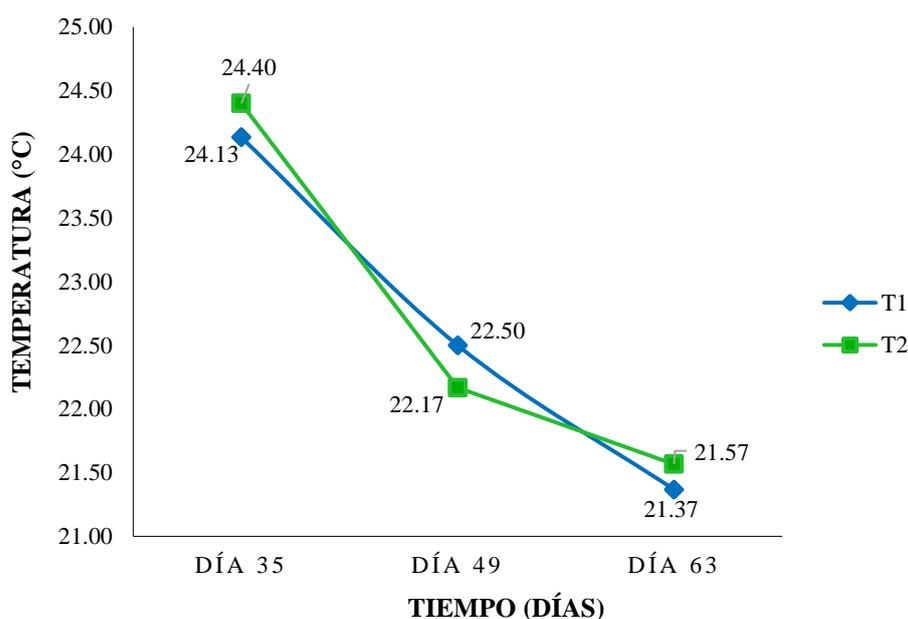
*Análisis T de Student para la temperatura en porcentaje (%)*

G1	G2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)- Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	P- valor
T1	T2	3	3	-2,67 %	-3,67 %	1	-2,07	4,07	0,7273	0,9	0,4169

Conforme a los resultados anteriores, fue necesario ilustrar los niveles promedio de la temperatura del agua residual durante el experimento. La Figura 24 muestra como el tratamiento del agua residual con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (T1) y *Lemna minor* L. (T2) sobre la temperatura, presentaron una tendencia de decrecimiento del día 35 hasta el día 63.

**Figura 24**

*Comportamiento de la temperatura durante el experimento*



- **Potencial de hidrógeno (pH)**

La Tabla 26 presenta los resultados del análisis estadístico T de Student para la eficiencia en la disminución del pH del agua residual, de acuerdo a los resultados existieron diferencias significativas a nivel de los tratamientos (T1 y T2). Donde se evidencia que el T2 alcanzó la mayor eficiencia que el T1. Por otro lado, los resultados del pH del agua residual cumplen con los supuestos de normalidad Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), Apéndice 7.

**Tabla 26**

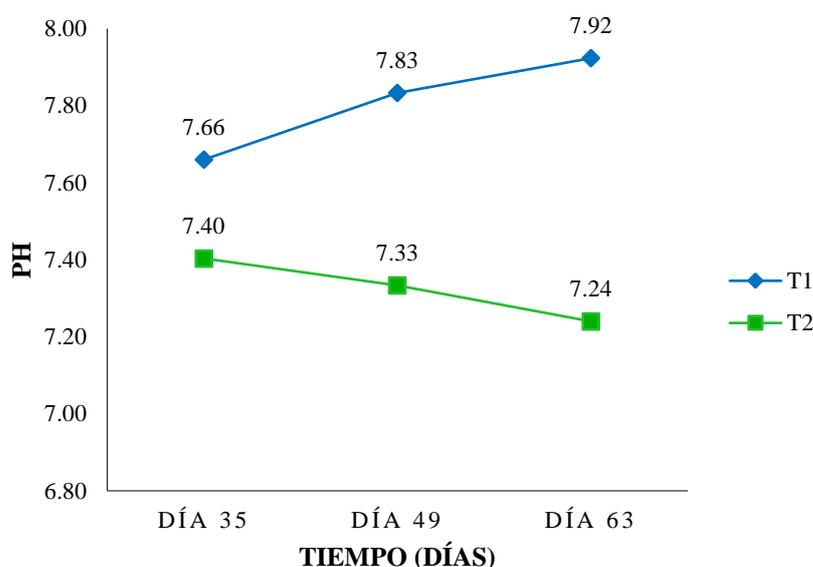
*Análisis T de Student para el pH en porcentaje (%)*

G1	G2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)- Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	P- valor
T1	T2	3	3	-5,33 %	4 %	-9,33	-12,26	-6,41	0,2	-8,85	0,0009

La Figura 25 muestra los niveles promedio del pH del agua residual durante el experimento, donde el T1 evidenció una tendencia de crecimiento iniciando con valores promedio de 7,66 (día 35) y culminando con 7,92 (día 63); mientras que, los resultados del el T2 reflejó una tendencia de decrecimiento con resultados iniciales de 7,40 (día 35) y finales de 7,24 (día 63); además, el T1 (*Hydrocotyle ranunculoides* L. f.) registró el pH más alcalino del experimento y el T2 (*Lemna minor* L.) el pH más neutro.

**Figura 25**

*Comportamiento del pH durante el experimento*



- **Conductividad eléctrica**

El análisis T de Student para la eficiencia en la reducción de la conductividad eléctrica del agua residual está en la Tabla 27. Los resultados demuestran que, no existen diferencias a nivel de los tratamientos (T1 y T2). La prueba Shapiro-Wilk presentó una distribución normal de los datos ( $p > 0,05$ ), tal como detalla el Apéndice 7.

**Tabla 27**

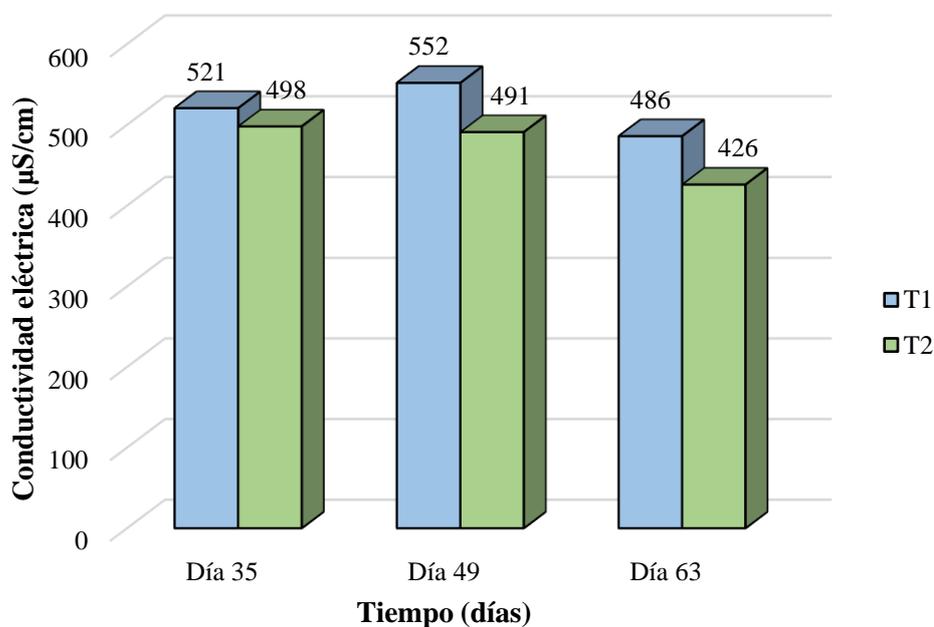
*Análisis T de Student para la conductividad eléctrica en porcentaje (%)*

G1	G2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)- Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	P- valor
T1	T2	3	3	66,33 %	70,67 %	-4,33	-14,04	5,37	0,1273	-1,24	0,2829

A pesar de ello, los valores promedio de la conductividad eléctrica durante los 63 días del experimento oscilaron entre 552  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el día 49 (T1) a 426  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en el día 63 (T2), tal como detalla la Figura 26.

**Figura 26**

*Comportamiento de la conductividad eléctrica durante el experimento*



- **Coliformes termotolerantes**

La Tabla 28 presenta el análisis T de Student para la eficiencia en la remoción de la concentración de coliformes termotolerantes del agua residual, se verifica que no existieron diferencias estadísticamente significativas a nivel de los tratamientos (T1 y T2). La prueba Shapiro-Wilk reflejó una distribución normal de los datos ( $p > 0,05$ ), Apéndice 7.

**Tabla 28**

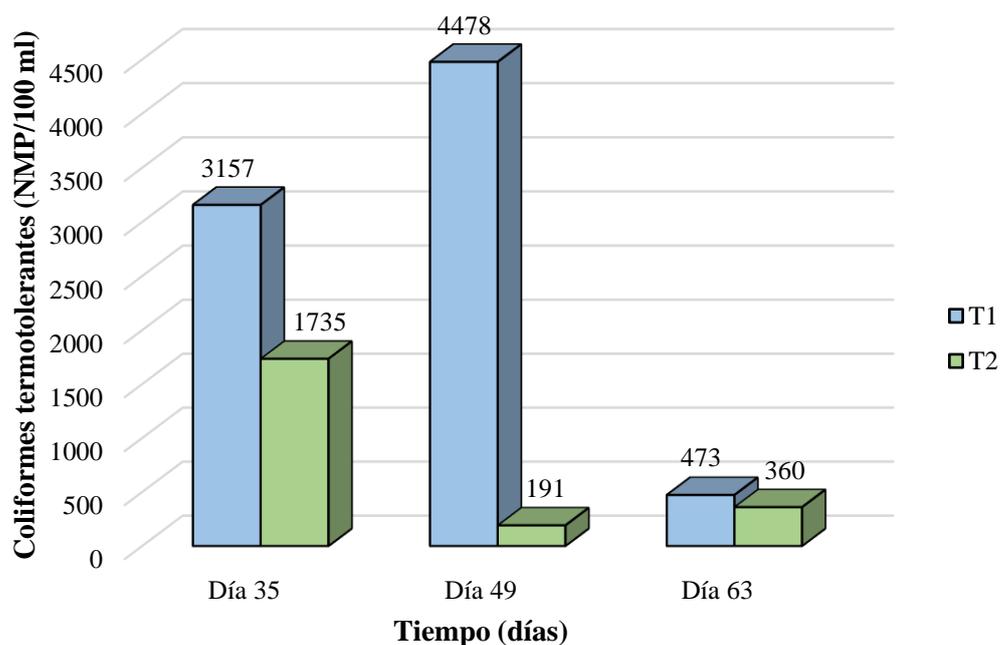
*Análisis T de Student para coliformes termotolerantes en porcentaje (%)*

G1	G2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)- Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	P- valor
T1	T2	3	3	97 %	97,67 %	-0,67	-2,52	1,18	0,5	-1	0,3739

Conforme a los resultados anteriores, fue necesario ilustrar los valores promedio de coliformes termotolerantes de las aguas residuales durante el experimento, se observa que el T2 tuvo las concentraciones promedio más bajas en el día 49 con 191 NMP/100 ml y en el día 35 la concentración promedio más alta con 1 735 NMP/100 ml, mientras que el T1 tuvo las concentraciones promedio más bajas en el día 63 con 473 NMP/100 ml y la concentración promedio más alta en el día 35 con 3 157 NMP/100 ml, Figura 27.

**Figura 27**

*Comportamiento de coliformes termotolerantes durante el experimento*



- **Coliformes totales**

La Tabla 29 presenta los resultados de la prueba estadística T de Student para la eficiencia en la remoción de la concentración de coliformes totales presentes en el agua residual, de acuerdo a los resultados, existen diferencias significativas a nivel de los tratamientos (T1 y T2), donde se observa que el T2 alcanzó la mayor eficiencia de remoción que el T1. Por otro lado, los resultados de coliformes totales cumplen con los supuestos de normalidad Shapiro-Wilk ( $p > 0,05$ ), tal como muestra el Apéndice 7.

**Tabla 29**

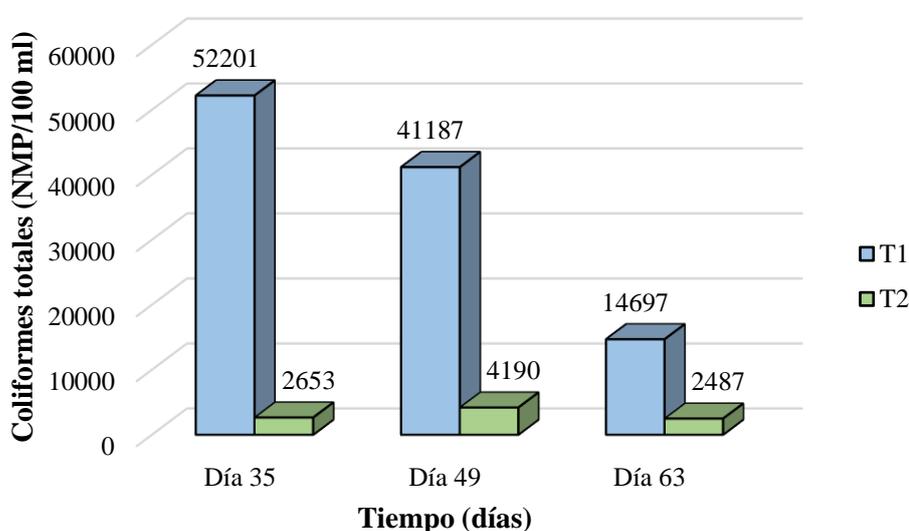
*Análisis T de Student para coliformes totales en porcentaje (%)*

G1	G2	n(1)	n(2)	Media(1)	Media(2)	Media(1)-Media(2)	LI(95)	LS(95)	pHomVar	T	P-valor
T1	T2	3	3	95,67 %	99,33 %	-3,67	-6,28	-1,05	0,25	-3,89	0,0177

La Figura 28 refleja los valores promedio de coliformes totales sobre las aguas residuales durante el experimento; se observa que el T1 tuvo las concentraciones promedio más altas a los 35 días de medición con 52 201 NMP/100 ml y la concentración promedio más baja en el día 63 con 14 697 NMP/100 ml, mientras que el T2 tuvo concentraciones promedio más altas en el día 49 con 4 190 NMP/100 ml y las concentraciones promedio más bajas con 2 487 NMP/100 ml en el día 63.

**Figura 28**

*Comportamiento de coliformes totales durante el experimento*



### 3.3. Comparación con los límites de vertimiento de agua residual municipal

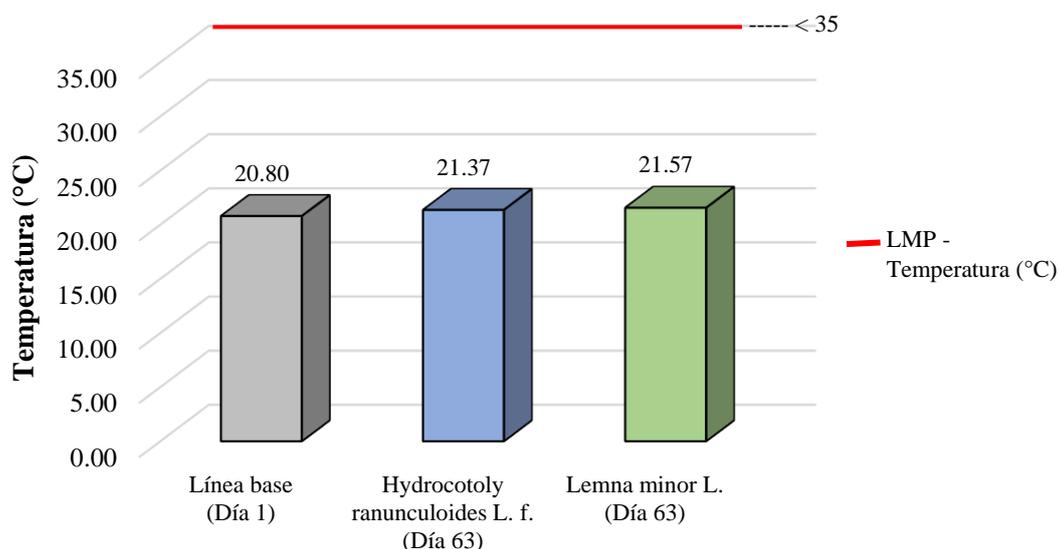
Se comparó los resultados de los parámetros temperatura, pH y coliformes termotolerantes de los tratamientos con los límites para efluentes de planta de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales dada por el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, durante los 63 días que duró la investigación, sin embargo los parámetros conductividad eléctrica y coliformes totales no fueron tomados en cuenta, porque no se encuentran contempladas en la normativa ambiental para vertimiento de aguas residuales.

- **Temperatura**

La Figura 29 muestra la comparación de los resultados promedio de la temperatura del agua residual promedio antes del tratamiento y después del tratamiento con los límites máximos permisibles durante 63 días, este parámetro registró valores promedio por debajo de los LMP para temperatura ( $< 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en los tratamientos con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.  $21,37\text{ }^{\circ}\text{C}$  y *Lemna minor* L.  $21,57\text{ }^{\circ}\text{C}$ , además de  $20,80\text{ }^{\circ}\text{C}$  en el día 1.

**Figura 29**

*Comparación de la temperatura de los efluentes con los LMP*



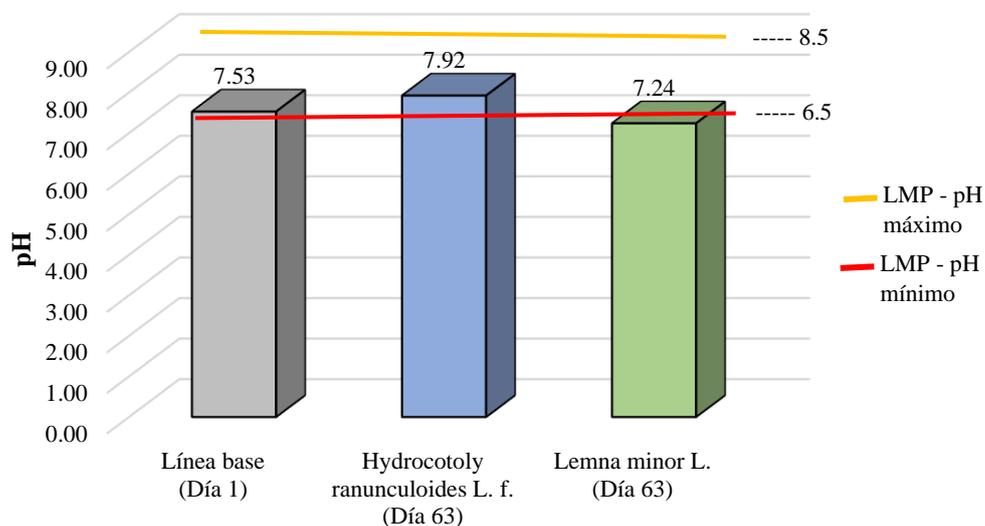
*Nota.* LMP – Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) del anexo de límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR del D. S N° 003-2010-MINAM.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Los niveles promedio de pH en el día 1 y en el día 63 con el tratamiento de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L sobre el agua residual, presentaron valores promedio dentro del rango 6,5 – 8,5 de pH de los límites de vertimiento de aguas residuales municipales según Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, con 7,53, 7,92 y 7,24, respectivamente, tal como detalla la Figura 30.

**Figura 30**

*Comparación del pH de los efluentes con los LMP*



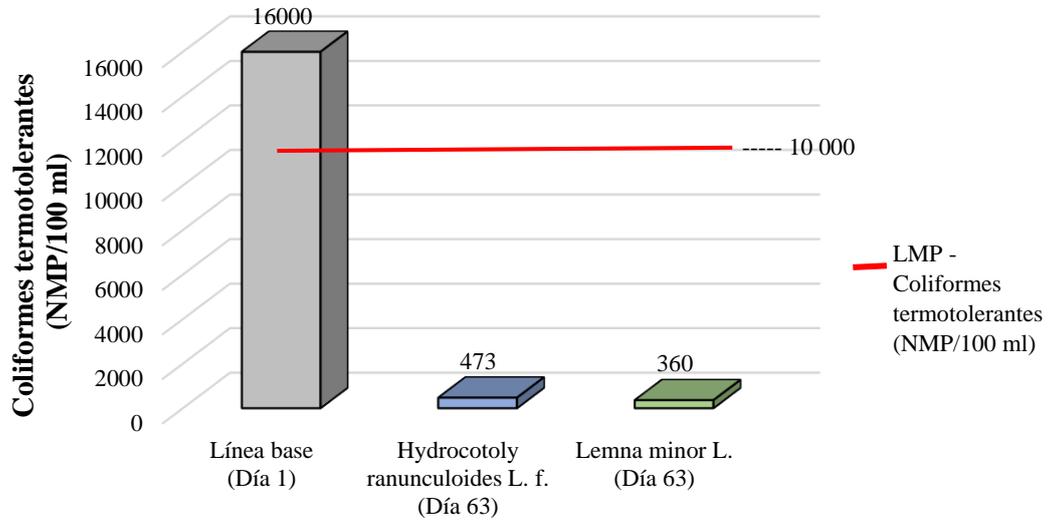
*Nota.* LMP – pH máximo y LMP – pH mínimo del anexo de límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR del D. S N° 003-2010-MINAM.

- **Coliformes termotolerantes**

La concentración promedio de coliformes termotolerantes del agua residual sin tratar tuvo 16 000 NMP/100 ml (día 1), mientras que, el agua residual tratada con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. a los 63 días presentaron valores promedio menores a 10 000 NMP/100 ml (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM), es decir, 473 NMP/100 ml y 360 NMP/100 ml, respectivamente. La Figura 31 detalla la comparación de la concentración promedio de coliformes termotolerantes de las especies macrófitas con los límites máximos permisibles de la normativa ambiental para agua residual.

**Figura 31**

*Comparación de coliformes termotolerantes de los efluentes con los LMP*



*Nota.* LMP – Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) del anexo de límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR del D. S N° 003-2010-MINAM.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

### 4.1. Crecimiento vegetal

#### 4.1.1. *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

De acuerdo a los resultados de esta investigación, el comportamiento vegetal de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. tuvo una tasa de crecimiento relativa de 0,0292 día<sup>-1</sup> evaluado al día 63 con un peso fresco promedio inicial de 26 y 163,7 g de peso fresco promedio final (Tabla 17). El resultado en cuanto a la tasa de crecimiento relativa difiere con los resultados expuestos por Quispe *et al.* (2019) quienes tuvieron 0,0307 evaluado en el día 70 con un peso seco promedio inicial de 7,49 y 64,30 g de peso seco promedio final; ello debido a que el área del estudio fue 10 cm menos profunda y una muestra de 250 g de *Hydrocotyle ranunculoides* que fue secada durante tres días a temperatura ambiente y 150 °C durante 24 horas.

En ese sentido, Huamán y Rumaja (2017) y Masache (2016) manifiestan que esta macrófita emergente se desarrolla en climas tropicales a altitudes de 110 – 3 850 metros sobre el nivel del mar, viven en cuerpos de agua poco profundas a temperaturas de 15 - 28 °C y pueden soportar pH altos, pero prefieren de 5 a 9 unidades; además, Zarazúa *et al.* (2013) señalan que debido al mecanismo de asimilación de nutrientes esta macrófita se desarrolla muy bien en cuerpos de agua con altas concentraciones de contaminantes orgánicos, inorgánicos y metales pesados.

#### 4.1.2. *Lemna minor* L.

Conforme a los resultados obtenidos la macrófita *Lemna minor* L., evidenció una tasa de crecimiento relativa de 0,0133 día<sup>-1</sup>, con un peso fresco promedio inicial de 42 g y un peso fresco promedio final de 97,33 g evaluado a los 63 días (Tabla 18). El resultado en cuanto

a la tasa de crecimiento relativa difiere con los resultados expuestos por Sierra *et al.* (2016) quienes obtuvieron un promedio de  $0,1595 \text{ día}^{-1}$  con un peso fresco promedio final de 14,92 g de *Lemna minor* sp. evaluado a los 20 días; ello debido a que la tasa de crecimiento relativa estuvo en función al número de frondas final menos el número de frondas inicial sobre el tiempo. Asimismo, Sierra *et al.* (2016) menciona que el crecimiento de *Lemna minor* depende de factores como la temperatura del agua, la disponibilidad de nutrientes, el pH y el consorcio microbiano presente en el efluente.

En ese contexto, Arroyave (2004) alega que *Lemna minor* logra un crecimiento óptimo entre los 15 a 18 °C, pero tolera hasta los 30 °C. Además, Guerrero y Jibaja (2019) y Torres (2019) señalan que el rango óptimo de pH para *Lemna minor* es 4,5 – 7,5 y que crece en estanques, lagos y charcos; es decir, en todo cuerpo de flujo lento ricas en nutrientes con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Debido a sus diversos pigmentos necesitan grandes cantidades de luz solar para realizar el proceso de fotosíntesis, al mismo tiempo tienen la capacidad de absorber sustancias orgánicas e inorgánicas (agua, nutrientes, luz solar, CO<sub>2</sub>) que posteriormente emplean para su crecimiento y desarrollo (Poveda, 2014 y Fernández *et al.*, 2014).

## **4.2. Efecto remediador**

- **Temperatura**

De acuerdo al análisis realizado para la eficiencia en la reducción de la temperatura del agua residual, no existieron diferencias entre los tratamientos analizados, es importante mencionar que los niveles porcentuales de este parámetro están por debajo de cero en un rango de -3,67 % (21,57 °C en promedio) con *Lemna minor* L. (T2) a -2,67 % (21,37 °C en promedio) con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (T1) a los 63 días, Tabla 25. Los resultados de esta investigación con respecto a *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. difieren con los resultados de Zarazúa *et al.* (2013) y Quispe *et al.* (2019) quienes obtuvieron temperaturas promedio menores a 21 °C en un día de monitoreo y 10 °C en el día 60, respectivamente, ello se debe a que, el primero analizó agua de río en México y el segundo en planta de tratamiento de agua residual en Huancayo-Perú. Asimismo, Masache (2016) registró una temperatura promedio inicial (día 1) de 26 °C, debido a que trabajó con aguas porquerizas

que presentaron alto contenido de materia orgánica y por ende registró una temperatura alta.

Por otro lado, los resultados del tratamiento del agua residual con *Lemna minor* L. difiere con los resultados obtenidos por Baltazar y Perez (2021) quienes obtuvieron temperaturas promedio menores a este estudio, con 15 °C en 30 días, la diferencia de estos resultados se debe probablemente a las condiciones climáticas (clima frío) y altitud del lugar 3 120 m s.n.m., mientras que esta investigación fue desarrollada a 1 056 m s.n.m.; pero Ayay (2019), Guerrero y Jibaja (2019) y Torres (2019), obtuvieron temperaturas superiores con 23,5; 23,73 °C y 27,5 °C en 30, 42 y 30 días respectivamente. Sin embargo, los resultados de esta investigación guardan relación con los resultados obtenidos por Coronel (2016), Gualán (2016) y Villaseca (2021) quienes trabajaron con aguas residuales producto de la actividad antropogénica (doméstica y municipal) obteniendo temperaturas promedio de 20,85; 23 y 21,8 °C en 44, 21 y 30 días respectivamente.

Delgadillo *et al.* (2010) refieren que la actividad remediadora se desarrolla a una temperatura óptima entre 25 a 35 °C, pues este parámetro influye significativamente en la velocidad de depuración de las aguas residuales; asimismo, Perales (2018) aclara que la temperatura del agua residual es mayor a la temperatura del agua de consumo humano debido a la descomposición de la materia orgánica. Es decir, que la temperatura aumenta o disminuye dependiendo de la materia orgánica en descomposición la cual libera energía producto de las reacciones bioquímicas.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

De acuerdo a los resultados encontrados en el análisis T de Student para la eficiencia en la reducción del pH del agua residual, existieron diferencias entre los tratamientos evaluados, donde *Lemna minor* L. (T2) alcanzó la mayor eficiencia con un 4 % (pH más neutro con 7,24 en promedio), mientras que, *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (T1) tuvo una eficiencia por debajo de cero con un -5,33 % (pH más alcalino con 7,92 en promedio) a los 63 días, Tabla 26. Resulta prudente comparar estos resultados con los obtenidos por Gualán (2016) quien encontró a los 21 días de tratamiento con *Lemna minor* niveles promedio de pH de

7,5, lo que se encuentra dentro del promedio encontrado en esta investigación. Asimismo, ambas especies registraron un pH dentro del rango de tratamiento de aguas residuales, cuyos valores deben encontrarse entre 6,0 (ligeramente neutra) a 9,0 (ligeramente alcalina), sin estar por debajo de 5 ni por encima de 9, pues altera la biota del agua lo que hace un difícil tratamiento biológico (García, 2012). Los resultados registrados con la especie *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. serían debido a que la especie se desarrollan muy bien en aguas con pH entre 5,9 a 7,1 (Zarazúa *et al.*, 2013) y *Lemna minor* L. se desarrolla en un pH entre 4,5 a 7,5 (Arroyave, 2004), ello debido a la presencia de gases disueltos, ácidos orgánicos y sales minerales presentes en las aguas residuales (Sekhar *et al.*, 2018). Las fluctuaciones del pH probablemente se deben a la presencia de algún elemento traza como carbonatos, hidroxilos y bicarbonatos o gases disueltos y ácidos orgánicos.

- **Conductividad eléctrica**

De acuerdo al análisis T de Student para la eficiencia en la reducción de la conductividad eléctrica, no existen diferencias significativas entre los tratamientos, resultó evidente que *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (T1) tuvo la menor eficiencia de reducción con un 66,33 % (486  $\mu$ S/cm en promedio) y *Lemna minor* L. (T2) presentó la mayor eficiencia de reducción con un 70,67 % (426  $\mu$ S/cm) a los 63 días, Tabla 27. Estos resultados en cuanto al tratamiento del agua residual con *Lemna minor* L. difieren con otras investigaciones quienes lograron similares niveles de reducción pero en menor tiempo, es así que, Coronel (2016) en su investigación logró una reducción del 71,75 % en 44 días, posiblemente debido a que la especie vegetal tiene en sus raíces microorganismos asociados que hacen que los sólidos del agua se vayan clarificando, Baltazar y Perez (2021) lograron reducir un 70,7 % en 30 días, mientras que Guerrero y Jibaja (2019) obtuvieron un 67,7 % de remoción en 30 días, esto estaría explicado debido a que durante el tratamiento con *Lemna minor* L. el agua residual se fue evaporando y las partículas coloides fueron sedimentando. Por otro lado, esta investigación difiere con la investigación de Torres (2019) que registró un 28,1 % de reducción en 35 días, debido a la retención hidráulica que lleva a un proceso de sedimentación, a la intervención de microorganismos que utilizan la materia orgánica como alimento y la absorción de sales a través de las raíces de estas especies vegetales (Baltazar y Pérez, 2021).

De la misma manera, los resultados del tratamiento del agua residual con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. están muy lejos del rango de 562  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 820  $\mu\text{S}/\text{cm}$  propuesto por Zarazúa *et al.* (2013), ello probablemente debido a que esta investigación analizó el agua residual de río en un solo momento donde hubo mayor número de especies de *Hydrocotyle ranunculoides*, lo que evidencia un alto contenido de sales. Asimismo, Torres (2019) explica que la macrófita necesita sustrato para establecerse y este no permite que todas las raíces de la especie absorban cantidades significativas de sales, es por ello que su capacidad de remoción se ve restringido dando lugar a las reacciones que se dan en la zona superior del sustrato.

- **Coliformes termotolerantes**

De acuerdo a los resultados de la eficiencia en la remoción de coliformes termotolerantes del agua residual, no existen diferencias significativas entre los tratamientos, es preciso mencionar que los niveles porcentuales de remoción estuvieron muy cercanos al 98 % en ambos tratamientos (Tabla 28). A pesar de ello, el tratamiento del agua residual con *Lemna minor* L. registró su mayor eficiencia de remoción con un 97,67 % a los 63 días. Sin embargo, existen otras investigaciones que lograron buenos resultados en menor tiempo, Gualán (2016) remedió aguas residuales de Zamora – Ecuador con *Lemna minor* en la que consiguió un 99,7 % de remoción durante 21 días; Baltazar y Perez (2021) utilizaron *Lemna minor* para remover aguas residuales domésticas en Santiago de Chuco, obtuvieron un 97,9 % durante 30 días; Ayay (2019) remedió aguas residuales de la localidad Granja Porcón – Cajamarca con *Lemna minor*, obtuvo un 91,5 % de remoción durante 30 días; Torres (2019) removió aguas residuales de la universidad de Ucayali con *Lemna minor*, obtuvo un 99,2 % de remoción durante 35 días y Coronel (2016) evaluó la remoción con *Lemna minor* en aguas residuales de la universidad de Toribio Rodríguez, obtuvo un 95,62 % de remoción durante 44 días. Estos resultados reflejaron que la especie *Lemna minor* L. logró resultados positivos en el menor tiempo de tratamiento de agua residual con coliformes termotolerantes, ya que según León *et al.* (2018) los microorganismos fecales son adsorbidos por la raíz de la especie vegetal durante los primeros siete días; mientras que, esta investigación difiere con los resultados registrados en la investigación de Villaseca (2021), quién empleó *Lemna minor* para remediar agua de pozas de oxidación de Táchala – Piura, donde consiguió una remoción de un 41,3 % durante 30 días, esto se debe a

que probablemente el investigador no consideró la temperatura ambiental que las especies pueden tolerar, por ende, la capacidad remediadora se ve afectada.

Por otro lado, el tratamiento del agua residual con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. alcanzó una eficiencia de remoción de un 97 % a los 63 días. Estos resultados son muy cercanos a los obtenidos por Masache (2016) que logró remover el 98,1 % de coliformes termotolerantes de las aguas residuales de la actividad porcina con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. pero a los 120 días, ello debido a que empleó un sistema de tratamiento de flujo continuo de mayor volumen de agua residual; por otro lado, Quispe *et al.* (2019) emplearon *Hydrocotyle ranunculoides* para remover coliformes fecales de las aguas residuales municipales de Alcas, obtuvieron un 79,2 % de remoción en 150 días, lo que significó que la especie llegó a un límite de tiempo de remoción, por lo que se necesita un mantenimiento de la unidad experimental.

- **Coliformes totales**

Los resultados de esta variable demuestran que existen diferencias estadísticamente significativamente entre los tratamientos, donde *Lemna minor* L. (T2) alcanzó la mayor eficiencia de remoción con un 99,33 % y *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (T1) registró una eficiencia de remoción de un 95,67 % a los 63 días, Tabla 29. Estos resultados fueron similares con la investigación de Baltazar y Pérez (2021) quienes lograron remover coliformes totales de las aguas residuales municipales con *Lemna minor* a un 100 % en 30 días; asimismo, Gualán (2016) obtuvo una remoción de un 99,6 % en 21 días utilizando *Lemna minor*; y Coronel (2016) logró remover un 95,83 % de coliformes totales en 44 días con *Lemna minor*. Sin embargo, esta investigación difiere con los resultados registrados en la investigación de Villaseca (2021) que logró remediar las lagunas de oxidación de Táchala – Piura, en un 61,6 % de coliformes totales en 30 días empleando *Lemna minor*, Chuquibala y Sanchez (2017) lograron remover un 51,11 % de coliformes totales en 35 días con *Lemna minor*, ello se debe a que el primero no considero la temperatura ambiental de la zona y el segundo encontró concentraciones altas de coliformes totales y no considero mayor tiempo de tratamiento.

León *et al.* (2018) explica que los coliformes totales son adsorbidos por la raíz de la especie vegetal durante los primeros siete días. Asimismo, esta macrófita consume de manera rápida todos los nutrientes que se encuentran en el agua residual y tiene mucho que ver el tiempo de retención (mientras más tiempo el agua residual se encuentre en contacto con la especie vegetal mayor será su rendimiento de remoción) (Baltazar y Pérez, 2021). Además, Delgadillo *et al.* (2010) manifiesta que para la remoción de las bacterias patógenas debe ocurrir una depredación por parte del microorganismo como rotíferos, protozoos, flageados y ciliados, que se encuentran en las raíces de las especies vegetales. Es decir, *Lemna minor* L. tuvo una mayor remoción de coliformes totales del agua residual debido a la posible adherencia de las bacterias a las raíces.

#### **4.3. Comparación con los límites de vertimiento de agua residual municipal**

Los resultados obtenidos del agua residual tratada con las macrófitas acuáticas a los 63 días registraron valores promedio de temperatura de 21,37 °C, pH 7,92 y coliformes termotolerantes de 473 NMP/100 ml con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y temperatura promedio de 21,57 °C, pH 7,24 y coliformes termotolerantes de 360 NMP/100 ml con *Lemna minor* L. (Tabla 19). Según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM de los límites máximos permisibles del tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales el efluente debe presentar una temperatura < 35 °C, pH 6,5 – 8,5 y coliformes termotolerantes por debajo de 10 000 NMP/100 ml, en este contexto los resultados de esta investigación se encontraron dentro del rango de los LMP de la normativa ambiental. De la misma manera, el estudio de depuración de aguas residuales con la macrófita *Lemna minor* en La Libertad (Baltazar y Perez, 2021) y Amazonas (Ayay, 2019) obtuvieron resultados que cumplieron los LMP con 7 000 NMP/100 ml y 3 900 NMP/100 ml, respectivamente. Sin embargo, los resultados de esta investigación refutan a los encontrados por Villaseca (2021), Torres (2019) y Coronel (2016), quienes no cumplieron los LMP con 54 000; 31 125 y 6 850 000 NMP/100 ml respectivamente; debido a que la caracterización inicial de las aguas residuales registró altas concentraciones de coliformes termotolerantes.

Por otro lado, estos resultados son similares con la investigación de Gualán (2016) que empleó *Lemna minor* para tratar aguas residuales de Chicaña – Ecuador, que obtuvo una concentración de coliformes termotolerantes de 230 NMP/100 ml (10 000 NMP/100 ml

LMP del Acuerdo 028-2015); asimismo, Masache (2016) utilizó *Hydrocotyle ranunculoides* para tratar aguas contaminadas por la porcicultura (Zamora-Ecuador), también cumplió los LMP del Acuerdo Ministerial 028-2015 con 57 NMP/100 ml. Es preciso recalcar que las dos últimas investigaciones fueron realizadas en Ecuador, quienes compararon sus resultados con la norma de ese país, a pesar de ello, dichos límites máximos permisibles para coliformes termotolerantes o fecales, son similares a la legislación peruana.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

Conforme a los resultados alcanzados en la presente investigación se concluye que:

- Las macrófitas acuáticas *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. mostraron un crecimiento vegetal significativo, ya que alcanzaron una tasa de crecimiento relativo de  $0,0292 \text{ día}^{-1}$  y  $0,0133 \text{ día}^{-1}$ , respectivamente; a los 63 días de monitoreo y bajo las condiciones climáticas de San Miguel de El Faique.
- Las especies macrófitas *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. poseen un efecto remediador, pues tuvieron altos porcentajes de eficiencia en conductividad eléctrica, coliformes termotolerantes y coliformes totales de las aguas residuales de poza de oxidación de San Miguel de El Faique a los 63 días. *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. registró eficiencias de un 66,33 % en CE, 97 % en CF y 95,67 % en CT; *Lemna minor* L. presentó eficiencias de un 70,67 % en CE, 97,67 % en CF y 99,33 % en CT. Por otro lado, la temperatura fue de  $21,37 \text{ °C}$  con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y  $21,57 \text{ °C}$  con *Lemna minor* L., mientras que el pH tuvo un valor de 7,92 con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y 7,24 con *Lemna minor* L., obteniendo valores óptimos dentro de los procesos de remediación por otras investigaciones.
- Las aguas residuales de poza de oxidación de San Miguel de El Faique tratadas con *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L., presentaron concentraciones fisicoquímicas y microbiológicas acordes a los LMP, por lo que, al verter el agua residual tratada en los cuerpos de agua o espacios naturales presentan un mínimo riesgo socioambiental para la población aledaña.
- La especie macrófita *Lemna minor* L. fue más eficiente en la remediación del agua residual de la de poza de oxidación de San Miguel de El Faique.

## CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Evaluar el comportamiento vegetal de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L., así como el área de recubrimiento y la tasa de crecimiento relativa en función al peso seco de la biomasa.
- Emplear otras especies vegetales junto a *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L. que se encuentran en el distrito San Miguel de El Faique, para evaluar la capacidad fitorremediadora de agua residual, mediante un sistema de tratamiento de flujo continuo y de mayor área, ya que, *Lemna minor* L. es una especie que se reproduce rápido saturando la unidad experimental.
- Realizar investigaciones que contemplen el análisis de otros parámetros que no fueron analizados en esta investigación, tomando muestras de agua en periodos más cortos, tales como *Escherichia coli*, DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos totales suspendidos, nitratos y fosfatos en la que se utilice como tratamientos especies de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f., *Lemna minor* L. y otras especies vegetales, asimismo, compararlas con normativas ambientales vigentes.
- Finalmente, se recomienda el rediseño del sistema de tratamiento de las aguas municipales de San Miguel de El Faique en el que se incluya una piscina fitorremediadora como tratamiento secundario (uso de especies macrófitas como *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. y *Lemna minor* L.), así minimizar la contaminación ambiental local por aguas residuales.

## REFERENCIAS

- Agudelo, L., Macias, K. y Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57-60. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520110.pdf>
- Ansola, G., González, J. M., Cortijo, R. y De Luis, E. (2003). Experimental and full-scale pilot plant constructed wetlands for municipal wastewaters treatment [Humedales construidos en planta piloto experimental y a gran escala para el tratamiento de aguas residuales municipales]. *Ecological Engineering*. 21(1), 43-52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2003.08.002>
- Arias, S. A., Betancur, F. M., Gómez, G., Salazar, J. P. y Hernández, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador Técnico*, 74(1), 12-22. [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/5/5](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5)
- Arroyave, M. P. (2004). La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): una planta acuática promisoría. *Revista Escuela de Ingeniería de Antioquía*, 1(1), 33-38. <https://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763003.pdf>
- Ayala, R. Y., Calderón, E., Rascón, J. y Collazos, R. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Agroproducción Sustentable*, 2(3) 47-53. <https://zenodo.org/record/3946755#.Y9wqdnbMK3A>
- Ayay, J. D. (2019). *Capacidad remediadora de Lemna minor y Pistia stratiotes en el tratamiento de aguas residuales de la localidad de Granja Porcón – Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39360>
- Baltazar, L. G. y Perez, C. A. (2021). *Evaluación de tres plantas nativas en la depuración de aguas residuales municipales mediante humedales en Santiago de Chuco, La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional. <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/17695>
- Bonilla, J. R. y Novelo, A. (1995). Manual de identificación de plantas acuáticas del parque nacional Lagunas de Zempoala, México. Universidad Autónoma de México. <https://books.google.com.pe/books?id=tHAXa8YFChgC&printsec=frontcover&hl=es>

- Briones, L. N. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes totales, fecales y escherichia coli, en Celendín – Cajamarca* [Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3459>
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). Facultad de Química, UNAN. [https://nanopdf.com/download/metodo-para-la-determinacion-de-bacterias-coliformes\\_pdf](https://nanopdf.com/download/metodo-para-la-determinacion-de-bacterias-coliformes_pdf)
- Campoverde, M. (2017). *Remoción de materia orgánica mediante chrysopogon zizanioides en el tratamiento secundario de aguas residuales domesticas de Citrar* [Tesis de grado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio institucional. [http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/246/1/Campoverde\\_Martin\\_Trabajo\\_Suficiencia\\_2017.pdf](http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/246/1/Campoverde_Martin_Trabajo_Suficiencia_2017.pdf)
- Carranza, J. H. y Romero, W. H. (2020). *Efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomasa de Lemna minor en la biorremediación de aguas residuales domésticas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/8766>
- Carrasquel, N. (2000). Angiospermas: colección, morfología floral, clasificación. Universidad Católica Andrés Bello. [http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAN9997\\_1.pdf](http://biblioteca2.ucab.edu.ve/anexos/biblioteca/marc/texto/AAN9997_1.pdf)
- Carrera, J. y Suárez, M. (2019). Aguas residuales industriales en Iberoamérica. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). [https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/33288/CYTED\\_2019\\_Libro-Aguas-industriales-Iberoamerica.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/33288/CYTED_2019_Libro-Aguas-industriales-Iberoamerica.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cartagena, J. C. y Malo, B. O. (2017). Evaluación del uso de la microalga *Chlorella vulgaris* en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la PTAR el Salitre a nivel laboratorio [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. Repositorio institucional. <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6035>
- Chacón, N. (2018). *Evaluación del nivel de eutrofización de la laguna Quelluacocha – Namora – Cajamarca* [Trabajo de investigación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24851>

- Chimbo, G. y Montero, G. (2018). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de flujo subsuperficial en la parroquia San Luis de Armenia, comunidad San Luis de Armenia provincia de Orellana* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8944/1/236T0341.pdf>
- Chuquibala, M. y Sánchez, H. (2017). *Determinación de la eficiencia de remoción de contaminantes del afluente doméstico mediante la aplicación de Eicchornia crassipes y Lemna minor en el anexo El Molino, distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1426>
- Cirujano, S. y Medina, L. (2002). *Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla – La Mancha. Real Jardín Botánico, CSIC.* [https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20140220/plantas\\_acuaticas\\_\\_lagunas\\_humedales\\_clm\\_.pdf](https://www.castillalamancha.es/sites/default/files/documentos/pdf/20140220/plantas_acuaticas__lagunas_humedales_clm_.pdf)
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y Saneamiento.* (PUB.2017/1-P) [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10\\_DisenodeLagunasDeEstabilizacion.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10_DisenodeLagunasDeEstabilizacion.pdf)
- Coronel, E. (2016). *Eficiencia del jacinto de agua (Eicchornia Crassipes) y Lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas, 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/657>
- Correa, G. (2008). *Evaluación y monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del Municipio de Santa Fé de Antioquía, Colombia* [Tesis de maestría, Universidad de Antioquía]. Repositorio institucional udea. <https://hdl.handle.net/10495/50>
- Cortés, F., Treviño, A. y Tomasini, A. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización.* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Decreto Supremo 003 de 2010 [Ministerio del Ambiente]. *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.* 17 de marzo de 2010.

- Delgadillo, A. E. (2012). *Determinación de parámetros fisicoquímicos, estado eutrófico y metales pesados de la laguna de Tecocomulco, Hidalgo; identificación de compuestos quelantes de Hydrocotyle ranunculoides L. f.* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo]. Repositorio institucional <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/1900>
- Delgadillo, A., Gonzáles, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical y Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 597-612. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Universidad Mayor de San Simón. <https://docplayer.es/2126548-Depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales.html>
- Días, D. A. (2015). *Estudio del sistema de tratamiento de aguas residuales producidas por la lavadora y tinturadora de prendas de vestir “Cristian Car” y su influencia en la red de alcantarillado del sector de Tambo el Progreso, Cantón Pelileo, provincia del Tungurahua* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/18627>
- Duncan, M. (2004). Domestic wastewater treatment in developing countries. Earthscan. [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/earthscan\\_ltd\\_domestic\\_wastewater\\_treatment\\_in\\_developing\\_countries\\_2003.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/earthscan_ltd_domestic_wastewater_treatment_in_developing_countries_2003.pdf)
- Esquivel, J. L. y Lacayo, M. (2020). Evaluación del impacto de las aguas residuales domésticas y semi-industriales sobre la calidad físico-química del río Chiquito, León, en el período de mayo 2016-enero 2017. *Revista Torreón Universitario*, 9(25), 58-76. <https://doi.org/10.5377/torreon.v9i25.9854>
- Fernández, J., Beascochea, E., Muñoz, M. y Curt, M. (2014). Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación. Universidad Politécnica de Madrid. [https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual\\_fitodepuracion.pdf](https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf)
- Ferrer, J., Seco, A. y Robles, A. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*. Universidad Politécnica de Valencia. [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC\\_0358\\_03\\_03.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC_0358_03_03.pdf?guest=true)

- Fuentes, R. M., Ramos, J. A., Jiménez, M. C. y Esparza, M. (2015). Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(3), 253-264. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/46282>
- Fundación Nacional de Salud. (2013). Manual práctico de análisis de agua. [https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_practico\\_analisis\\_agua\\_4\\_ed.pdf](https://bvsm.s.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_practico_analisis_agua_4_ed.pdf)
- Garcés, L. F., Mejía, E. A. y Santamaría, J. J. (2004). La fotocatalisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Lasallista de Investigación*, 1(1), 83-92. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511013>
- García, L. y Iannacone, J. (2014). Pseudomonas aeruginosa un indicador complementario de la calidad de agua potable: Análisis bibliográfico a nivel de Sudamérica. *The Biologist*, 12(1), 133-152. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4755797>
- García, Z. M. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional. [http://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf)
- Ghosh, M. y Singh, S. P. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *As. J. Energy Env*, 6(4), 214-231. <https://www.thaiscience.info/Journals/Article/AJEE/10262422.pdf>
- Gómez, A. (2021). *Diseño de un proceso de tratamiento de aguas residuales urbanas para una pequeña población-estudio comparativo* [Tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. Repositorio institucional. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/46080/TFGI1795.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gonzales, A. M. (2013). *Tema 3: Adaptaciones del cormo*. Recuperado de [http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3\\_4hidrofita.htm](http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema3/tema3_4hidrofita.htm)
- Gualán, S. D. (2016). *Evaluación del pasto alemán (Echinochloa polystachya) y lenteja de agua (Lemna minor) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14140>

- Guerrero, J. y Jibaja, F. K. (2019). *Tratamiento del efluente de la laguna de oxidación mediante fitorremediación del Eichhornia crassipes y Lemna minor; en Jaén – Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio institucional  
[https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/156/1/Guerrero\\_BJ\\_Jibaja\\_BFK.pdf](https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/156/1/Guerrero_BJ_Jibaja_BFK.pdf)
- Gupta, P., Roy, S. y Mahindrakar, A. (2015). Treatment of groundwater using phytoremediation technique at Kolar Gold Fields, India. *Int. J. Environmental Engineering*, 7(1), 11–34.  
[https://www.researchgate.net/publication/276432200\\_Treatment\\_of\\_groundwater\\_using\\_phytoremediation\\_technique\\_at\\_Kolar\\_Gold\\_Fields\\_India](https://www.researchgate.net/publication/276432200_Treatment_of_groundwater_using_phytoremediation_technique_at_Kolar_Gold_Fields_India)
- Hernández S., R; Fernández C., C. y Baptista L., M. (2014). *Metodología de la investigación*. (5ta ed.). Interamericana Editores S.A.  
[https://www.academia.edu/20792455/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_la\\_Investigaci%C3%B3n\\_5ta\\_edici%C3%B3n\\_Roberto\\_Hern%C3%A1ndez\\_Sampieri](https://www.academia.edu/20792455/Metodolog%C3%ADa_de_la_Investigaci%C3%B3n_5ta_edici%C3%B3n_Roberto_Hern%C3%A1ndez_Sampieri)
- Hernández, C., Aguilera, M. G. y Castro, G. (2011). Situación de las enfermedades gastrointestinales en México. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología*, 31(4), 137-151.  
<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=31615>
- Hidalgo, J., Montano, J. y Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoría*, 14(1), 17-25.  
<http://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a2.pdf>
- Huamán, J. Z. y Rumaja, A. (2017). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales Nasturtium officinale W.T. Aiton (berro) e Hydrocotyle ranunculoides L.f. (matecillo) en relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cusco]. Repositorio institucional.  
<http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/1705>
- Ibáñez, C. (2014). *Monografía del distrito San Miguel de El Faique-Piura-Perú*.  
<https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/monografia-del-distrito-san-miguel-faique-piura-peru/monografia-del-distrito-san-miguel-faique-piura-peru.shtml>
- Jaco, E. (2022). *Eficiencia de la Opuntia ficus indica como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales domésticas grises en el asentamiento humano Villa Solidaridad – San Juan de Miraflores* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio institucional.  
<https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/5812>

- Jaramillo, M. y Flores, E. D. (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* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2939>
- Labarthe, F. S. y Pelta, H. R. (2011). Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies forrajeras megatérmicas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/introduccion-basica-a-la-fotosintesis-y-caracteristicas-de-especies-forrajeras-megatermicas>
- Larios, F., González, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 09-25. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>
- Lédo, P., Lima, R., Joao, P. y Duarte, M. (2009). Comparative Study of Aluminum Sulfate and *Moringa oleifera* seeds as Coagulants in the Clarification of Water with Low Turbidity. *Información tecnológica*, 20 (5), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642009000500002>
- León, M. y Lucero, A. (2009). *Estudio de Eicchornia crassipes, Lemma gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio institucional. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/102>
- León, R., Pernía, B., Sigüencia, R., Franco, S., Noboa, A. y Cornejo, X. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas. *Enfoque UTE*, 9(4), 131-144. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n4.286>
- Liberio, F. J. y Vásquez, G. (2020). *Incidencia de la lombriz roja californiana y lenteja de agua en el tratamiento de aguas residuales urbanas*. (Compás) Grupo de capacitación e investigación pedagógica. <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/572/1/leberio.pdf>
- Llagas, W. y Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 15(17), 85-96. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699/552>

- Llano, B., Cardona, J., Ocampo, D. y Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Información Tecnológica*, 25(3), 73-82. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- López, S., Gallegos, M., Pérez, L. y Gutiérrez, M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 21(2), 91-100. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v21n2/0188-4999-rica-21-02-91.pdf>
- López, S., Huertas, D., Jaramillo, A., Calderón, D. y Díaz, J. (2019). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería y Desarrollo*, 37(2), 269–288. <https://doi.org/10.14482/inde.37.2.6281>
- Machorro, A., Rosano, G., Tavera, M., Flores, J., Maimone, M., Martínez, E., Martínez, S. y Rodríguez, P. (2020). Sustentabilidad y evaluación del impacto ocasionado por el relleno sanitario del municipio de Carmen en Campeche, México. *La granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 32 (2), 7-27. <http://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.06>
- Martelo, J. y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del Estado del Arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221–243. <https://www.redalyc.org/pdf/835/83524069011.pdf>
- Martín, W., López, E. y Monteagudo, J. (2009). Gestión y uso racional del agua. Félix Varela. [https://www.ecured.cu/Gesti%C3%B3n\\_y\\_uso\\_racional\\_del\\_agua](https://www.ecured.cu/Gesti%C3%B3n_y_uso_racional_del_agua)
- Masache, C. E. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (Pistia stratiotes L) y (Hydrocotyle ranunculoides L. f.) en el tratamiento de las aguas contaminadas por la porticultura en la granja El Guayabal del barrio Nambija Bajo, Cantón Zamora* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional. <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/17761>
- Medina, J. y Peralta, M. (2015). *Validación de un prototipo de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de alta carga orgánica presentes en la industria* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10702/1/UPS-CT005499.pdf>

- Mercado, A. (2013). Lagunas de estabilización. Centro de Aguas y Saneamiento Ambiental UMSS. [https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas\\_de\\_estabilizacion\\_0.pdf](https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf)
- Millán, C. y Polonia, L. (2018). *Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales de la empresa Somos K S.A* [Tesis de grado, Universidad de América]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/6723>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS]. (2021). Informe Anual de Atención de Denuncias Ambientales durante el año 2020. <https://sinia.minam.gob.pe/download/file/fid/68394>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). Manual para municipios ecoeficientes. [https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual\\_para\\_municipios\\_ecoeficientes.pdf](https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf)
- Moeller, G., Sandoval, L., Ramírez, E., Cardoso, L., Escalante, V. y Tomasini, A. (2009). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/operacion-y-mantenimiento-de-plantas-de-tratamiento-de-lodos-activados>
- Moret, I. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1753>
- Municipalidad Distrital San Miguel de El Faique. (2021). Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental. <http://sialhuancabamba.regionpiura.gob.pe/documentos/repositorio/phpbdbJS9.PDF>
- Muñoz, K. y Vasquez, M. (2020). *Estudio de la eficiencia de tratamientos de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23943>
- Muñoz, L., Nevárez, G., Ballinas, M. y Peralta, M. (2010). Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica*, 1(3), 1-9. [https://www.researchgate.net/publication/221705141\\_fitorremediacion\\_como\\_una\\_alternativa\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_suelos\\_contaminados](https://www.researchgate.net/publication/221705141_fitorremediacion_como_una_alternativa_para_el_tratamiento_de_suelos_contaminados)

- Noyola, A., Morgan, J. M. y Güereca, L. P. (2013). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Universidad Nacional Autónoma de México. [http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia\\_Aguas\\_Residuales.pdf](http://www.pronatura-sur.org/web/docs/Tecnologia_Aguas_Residuales.pdf)
- Núñez, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural quechua-Cajamarca* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1797>
- Núñez, R. A., Meas, Y., Ortega, R. y Olguín, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biotecnología y biología molecular*, 1(1), 69-82. [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)
- Oakley, S. (2005). Lagunas de estabilización en Honduras: manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacion-en-honduras.pdf>
- Olivas, E., Flores, J. P., Serrano, M., Soto, E., Iglesias, J., Salazar, E. y Fortis, M. (2011). Indicadores fecales patógenos en agua descargada del río Bravo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 449-457. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n4/2395-8030-tl-29-04-00449.pdf>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. <https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/Brochure%20Aguas%20Residuales%20CS5%20AM%20final%20individual.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1\\_\\_15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)
- Orozco, A. (2005). Bioingeniería de aguas residuales. Acodal. <https://books.google.es/books?id=t5w5EZf1VhMC&printsec=frontcover&hl=es>

- Osorio, F., Torres, J. C. y Sánchez, M. (2010). Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: Aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales. Ediciones Díaz de Santos. <https://books.google.es/books?id=ukWBj8V1yEC&printsec=frontcover&hl=es>
- Páez, L. J. (2008). *Validación secundaria del método de filtración por membrana para la detección de coliformes totales y Escherichia coli en muestras de aguas para consumo humano analizadas en el laboratorio de salud pública del Huilca* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8227/tesis221.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palomino L., G.R. y Ballón J., M.C. (2007). *Tratamiento de aguas residuales por procesos de biopelículas* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/1933>
- Perales, K. L. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con Eichornia crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2734>
- Plate, K. S. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la propuesta de instalación de una planta productora de harina de lenteja de agua (Lemna minor) para la sustitución de torta de soya en la alimentación avícola en la región Lambayeque* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio institucional. [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1974/1/TL\\_PlateLe%C3%B3nKurt.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1974/1/TL_PlateLe%C3%B3nKurt.pdf)
- Poma, J. R. y Quispe, P. A. (2016). *Remoción de contaminantes de aguas residuales urbanas por el método de electrocoagulación* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/3757>
- Poveda, R. A. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, provincia de Tungurahua* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/8455/1/BQ%2056%20.pdf>

- Quispe, R., Soto, M., Ingaruca, E, Bulege, W. y Custodio, M. (2019). Optimization of the Operation of a Municipal Wastewater Treatment Plant with *Hydrocotyle Ranunculoides* [Optimización de la Operación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales con *Hydrocotyle Ranunculoides*]. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9), 228-236. <https://doi.org/10.12911/22998993/112486>
- Raffo, E. y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Raimonda, A. M. (2015). *Dendrorremediación: el uso de Betula alba para monitorizar y reducir el contenido de metales en suelos mineros* [Tesis de pregrado, Universidad del País de Vasco]. Repositorio institucional. [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/17986/TFG\\_AlessandraNieddu.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/17986/TFG_AlessandraNieddu.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ramalho, R. (2021). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Reverte, S.A. <https://books.google.es/books?id=T9MfEAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es>
- Ramírez, K. P. y Paredes, M. E. (2019). *Evaluación de dos especies macrófitas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en la remoción de contaminantes microbiológicos y químicos a través de un sistema de biofiltro en aguas residuales domésticas, Tarapoto – 2018* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/39476>
- Raymundo, J. R. (2017). *Modelo de tratamiento de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo superficial en el centro poblado La Punta – Sapallanga* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3873/Raymundo%20Montes.pdf?sequence=1>
- Resolución 273 de 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]. Por la cual se establece el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. 24 de octubre de 2013.
- Ríos, S., Agudelo, R. M. y Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista de la Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/26353>

- Rojas, M. Y. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (Chrysopogon zizanioides) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa Bajo, distrito Chota, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25780?show=full>
- Romero, J. A. (2002). Calidad de agua. Escuela Colombiana de Ingeniería. [https://www.academia.edu/38972813/calidad\\_del\\_agua\\_romero\\_rojas](https://www.academia.edu/38972813/calidad_del_agua_romero_rojas)
- Romero, J. R. (2001). Reproducción asexual clónica: un dilema ético. *Revista Cubana de Medicina*, 40(1), 3-9. <https://docplayer.es/7076899-Reproduccion-asesual-clonica-un-dilema-etico.html>
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157-167. <https://www.redalyc.org/pdf/370/37012012004.pdf>
- Roncancio, D. (2015). Estudio sobre la aplicación de las técnicas de filtros por membrana a los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Universidad La Gran Colombia. <http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/StudentPapers/SP018.pdf>
- Schneider, B. (2016). *Ensamblajes de macrófitas en ambientes de la llanura aluvial del Río Paraná Medio: factores que inciden a distintas escalas* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Litoral]. Repositorio institucional. <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1185/Tesis.pdf>
- Sekhar, P. C., Vinuprakash, K.C. y Arun, S. (2018). Treatment of Domestic Wastewater Using Vermi-Biofiltration System with and Without Wetland Plants [Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Mediante Sistema de Vermi-Biofiltración con y Sin Plantas de Humedales]. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(4), 412–423. [https://iaeme.com/Home/article\\_id/IJCIET\\_09\\_04\\_046](https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_09_04_046)
- Severiche, C. A., Castillo, M. E. y Acevedo, R. L. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. <https://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>
- Silva, J. (2004). *Evaluación y rediseño del sistema de lagunas de estabilización de la Universidad de Piura* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional PIRHUA. [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI\\_119.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1189/ICI_119.pdf)

- Sierra, L., Ramírez, L. y Rodríguez, J. (2016). Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la *lemna minor* sp en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. *I+D Revista de Investigaciones*, 7(1), 91-97. <https://sievi.udi.edu.co/ojs/index.php/ID/article/view/68/59>
- Solís, Y., Zúñiga, L. A. y Mora, D. (2018). La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 31(1), 35-46. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i1.3495>
- Torres, A. G. (2019). *Tratamiento de aguas residual doméstica mediante sistemas de depuración con macrófitas (Lemna minor y Eleocharis palustris) en la universidad Nacional de Ucayali octubre 2018-setiembre 2019* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2394;jsessionid=41557802F6FB981DA4E3039FC6F141AC>
- Torres, G. A. y Lozano, E. A. (2017). Disminución de sólidos de aguas grises mediante un proceso de aireación. *Ra Ximhai*. 13(3), 393-404. <https://www.redalyc.org/pdf/461/46154070023.pdf>
- Vázquez, F. (2016). Lagunas de estabilización. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 3(1), 148-163. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/view/3004/2672>
- Vera, E. I. (2016). *Eficiencia de la fitorremediación de las aguas residuales del Dren 2210 utilizando lenteja de agua (Lemna minor)* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34568>
- Villaseca, F. J. (2021). *Efecto fitorremediador de Lemna minor en aguas contaminadas de las lagunas de oxidación de Tácala – Castilla – Piura – 2021* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/82966>
- Yee, C. (2013). *Un 70 % de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas*. Banco Mundial, BIRF – AIF. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

Zarazúa, G., Ávila, P., Tejada, S., Valdivia M., Zepeda C. y Macedo, G. (2013). Evaluación de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, ZN, y Pb en sombrerillo de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*) del curso alto del río Lerma, México. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 29(2), 17-24.  
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/viewFile/36519/37490>

## TERMINOLOGÍA

**Afluente.** Es el agua que ingresa a una fuente de tratamiento o es la etapa donde inicia su recepción o comprende la totalidad del conjunto del tratamiento (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2006).

**Angiospermas.** Son aquellas especies de plantas con flores que incluyen hierbas bastante pequeñas hasta especies vegetales arbustivas, así como árboles de bajos hasta altos tamaños (Carrasquel, 2000).

**Biorremediación.** Comprende la utilización de organismos vivos para descontaminar mediante el uso de bacterias, hongos, algas y/o plantas que absorben, degradan o transforman los contaminantes presentes en el aire, suelo y agua (Cartagena y Malo, 2017).

**Calidad del agua.** Referido a aquellas características biológicas, químicas y físicas del agua que son aceptables para el consumo diario de los seres humanos, sin ningún riesgo para la salud, inclusive su gusto, olor y apariencia (MVCS, 2006).

**Contaminación bacteriológica.** Son aquellas bacterias entéricas presentes en el agua, que en su mayoría provienen del tracto gastrointestinal de las personas y animales, siendo las bacterias coliformes y las enterobacterias indicadoras de la inocuidad del agua (Ríos *et al.*, 2017).

**Efluente.** Es el agua saliente de una unidad de tratamiento o la finalización de una fase o la totalidad del conjunto de tratamiento (MVCS, 2006).

**Enfermedades gastrointestinales.** Son uno de las trascendentales dificultades de salud, se transfieren por vía fecal oral, bebida de agua y suministros alimenticios contaminados, afectando directamente a menores de edad (Hernández *et al.*, 2011).

**Eutrofización.** Es aquella que se forma producto de un aumento excesivo de nutrientes, materia orgánica y sales minerales en el agua, siendo el fosforo el principal factor; se

forma por procesos naturales o producto de las actividades humanas; y el claro ejemplo es el incremento de macrófitas y algas en ecosistemas acuáticos (Chacón, 2018).

**Gemación.** Es una forma de reproducción asexual dando la procreación de otros seres originado por la formación de una especie de yema a través del contorno de un organismo unicelular y pluricelular, para finalmente terminar desuniéndose y formando nuevos seres genéticamente iguales (Romero, 2001).

**Materia orgánica.** Comprenden una gran variedad de compuestos presentes en el agua desde partículas macroscópicas hasta macromoléculas disueltas (Fuentes *et al.*, 2015).

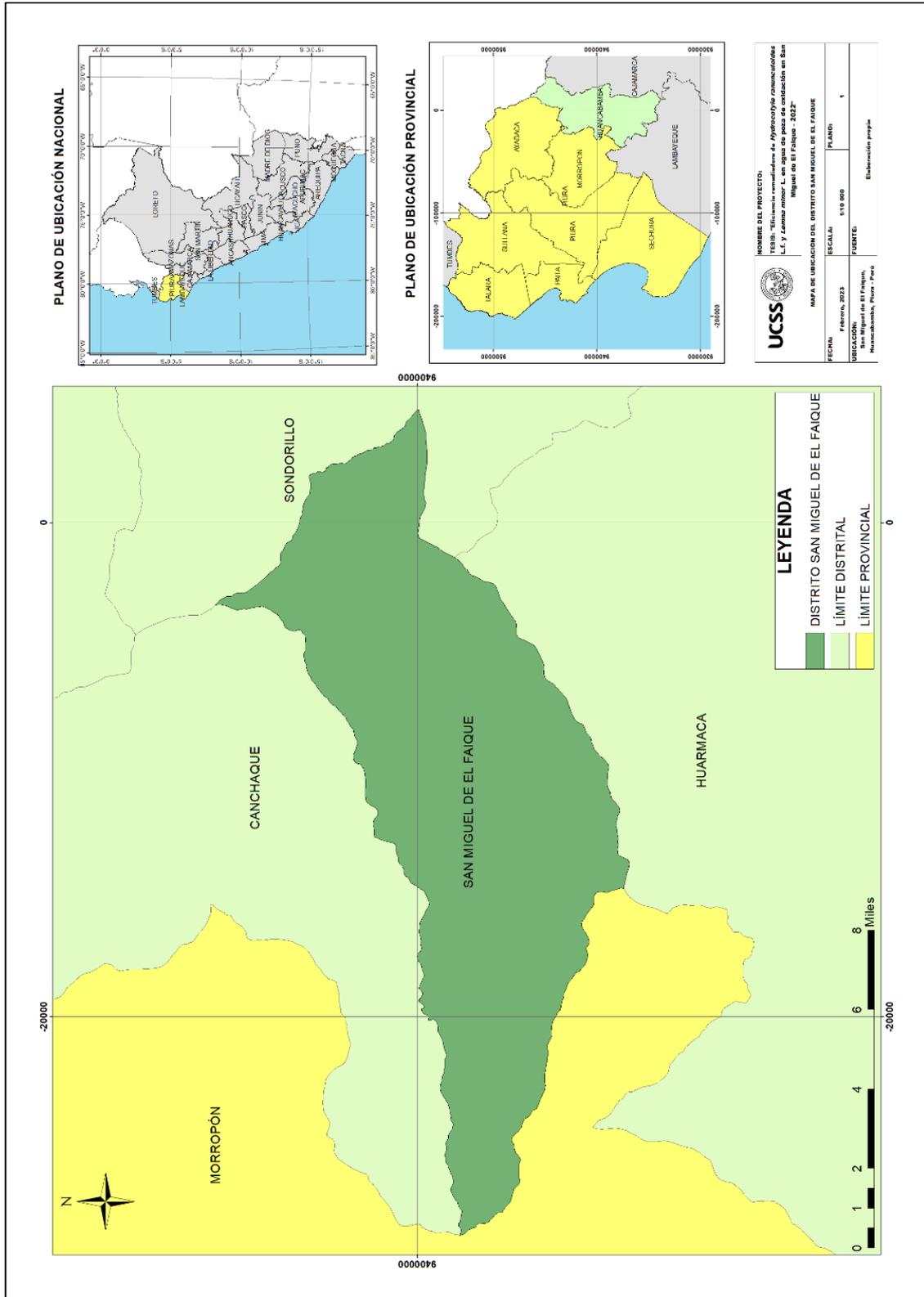
**Procesos fotosintéticos.** Es un proceso en el que las plantas convierten las sustancias inorgánicas del ambiente externo en sustancias orgánicas para crecer y desarrollar, es decir elaboran azúcares por medio de la fijación del CO<sub>2</sub>, aire, agua y minerales con apoyo de la luz solar, liberando moléculas de oxígeno y carbohidratos para la planta (Labarthe y Pelta, 2011).

**Sólidos disueltos.** Es la materia disuelta que, a pesar que se filtra el agua sigue presente y se encuentra representada en su mayor parte por materia coloidal de tamaños de 0,001  $\mu\text{m}$  a 1  $\mu\text{m}$  (Roncancio, 2015).

# APÉNDICES

## Apéndice 1

### Ubicación geográfica del distrito de San Miguel de El Faique



## Apéndice 2

### Fichas de campo de parámetros fisicoquímicos

Ficha de Campo de Toma de Muestras Fisicoquímicas						
Fecha	Hora	Procedencia de muestra	Parámetros fisicoquímicos			Observaciones
			Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (Us/cm)	
14/02/22	9:15AM	MOIBP	20.8	7.53	1450	AGUA RESIDUAL PROCEDENTE DE LA PRZA DE OXIDACION

SAN MIGUEL DE EL FATQUE, 14 de febrero del 2022.

OSCAR CHINGUEL SILVA

Responsable de Monitoreo

Fuente: Elaboración propia con base de la R. M. N° 273 – 2013 – Vivienda.

Ficha de Campo de Toma de Muestras Fisicoquímicas						
Fecha	Hora	Procedencia de muestra	Parámetros fisicoquímicos			Observaciones
			Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (Us/cm)	
21/03/22	9:15AM	MTH1A	24.6	7.41	450	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
21/03/22	9:18AM	MTH2B	24.6	7.36	531	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
21/03/22	9:21AM	MTH3C	24.0	7.44	513	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
21/03/22	9:24AM	MTH4D	24.6	7.53	524	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
21/03/22	9:27AM	MTH2E	23.6	7.78	603	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
21/03/22	9:30AM	MTH3F	24.2	7.67	438	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS

SAN MIGUEL DE EL FAJUE, 21 de Marzo del 2022.

..... OSCAR CHINQUEL SILVA.

Responsable de Monitoreo

Fuente: Elaboración propia con base de la R. M. N° 273 – 2013 – Vivienda.

Ficha de Campo de Toma de Muestras Fisicoquímicas						
Fecha	Hora	Procedencia de muestra	Parámetros fisicoquímicos			Observaciones
			Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (Us/cm)	
06/04/22	9:10AM	MLT1G	22.4	7.25	483	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
06/04/22	9:13AM	MLT2H	22.2	7.33	457	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
06/04/22	9:16AM	MLT3I	21.9	7.42	533	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
06/04/22	9:23AM	MTH1J	23.1	7.72	542	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
06/04/22	9:31AM	MTH3L	22.4	7.97	526	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
06/04/22	9:34AM	MTH2K	22.0	7.81	588	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS

SAN MIGUEL DE EL FAJONE, DC, de ABRIL del 2022.

..... OSCAR CUINGUEI SILVA .....

Responsable de Monitoreo

Fuente: Elaboración propia con base de la R. M. N° 273 – 2013 – Vivienda.

**Ficha de Campo de Toma de Muestras Fisicoquímicas**

Fecha	Hora	Procedencia de muestra	Parámetros fisicoquímicos			Observaciones
			Temperatura (°C)	pH	Conductividad eléctrica (Us/cm)	
18/04/22	9:36AM	MTL1M	21.8	7.19	410	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
18/04/22	9:39AM	MTL2N	21.5	7.41	421	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
18/04/22	9:42AM	MTL3Ñ	21.4	7.12	447	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
18/04/22	9:23AM	MTH1O	21.0	7.96	515	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
18/04/22	9:27AM	MTH2P	21.5	7.93	554	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS
18/04/22	9:33AM	MTH3Q	21.5	7.88	309	AGUA RESIDUAL TRATADA CON PLANTAS

SAN MIGUEL DE EL FAJAL... 18... de ABRIL... del 2022.

..... OSCAR... CHENQUEL... SELVA...

Responsable de Monitoreo

Fuente: Elaboración propia con base de la R. M. N° 273 - 2013 - Vivienda.

# Apéndice 3

## Cadenas custodias de parámetros microbiológicos



### CADENA DE CUSTODIA DE TOMA DE MUESTRA DE AGUA

Lab. Lima No. 1, 17A Urb. Narajillo - Buenos Pedros  
 Of. Pura Jr. Bernal 15A Urb. Balcada - Pura  
 Información: (01349-4050 - atencioncliente@equas.com.pe

Cliente: MAEFANELA CHIMWAY VASQUEZ  
 Procedencia\*: EJECUCION REMEDIADORA DE LA CONTAMINACION Y LIMPOR EN PIZA DE OXPACADA EN S.M.D.E.F - 2022  
 Distrito: SAN MIGUEL DE EL FAJONE Provincia: HUANCABAMBA Departamento: PIURA  
 Contacto: MAEFANELA CHIMWAY V. Teléfono: 9822963 Correo: MAEFANELA@EMATEL.COM  
 P.T.E. N°: EQ-PIDN° 6547/2021  
 ORDEN DE TRABAJO N°: \_\_\_\_\_  
 CÓDIGO INTERNO N°: \_\_\_\_\_

\*. Adicionar (si aplica) la Dirección (lugar de muestreo) y el nombre del proyecto.

Código de Laboratorio	Código de campo	Fecha	Hora	Matriz (*)	Tipo de muestreo	N° de Envases		MUESTRAS SOLICITADAS	
						P	NP	METALAS TRAZAS	OTROS
	M045P	14/02/22	9:15 AM	AR-03	S	1		X	X
	DM -								
	BV -			AP-05	S				
	BC -			AP-05	S				
	BE -			AP-05	S				

Agua Natural:	Substrato Superficial:	AN-01	AN-02
Agua Residual:	Doméstica	AR-01	AR-02
	Industrial	AR-03	AR-04
	Municipal	AR-05	AR-06
Agua de Uso y Consumo (Potable):	Agua Potable:	ACH-01	ACH-02
	Agua de Mesa:	ACH-03	ACH-04
	Agua Emvasada:	ACH-05	ACH-06
	Piscinas:	ACH-07	ACH-08
	Laguna Artificial:	ACH-09	ACH-10
Agua de Proceso:	Circulación e Enfriamiento:	AP-01	AP-02
	Administración para Calderas:	AP-03	AP-04
	Agua de Caldera:	AP-05	AP-06
	Agua de Lavación:	AP-07	AP-08
	Agua Purificada:	AP-09	AP-10
Agua Salina:	Agua de Mar:	AS-01	AS-02
	Agua Salina:	AS-03	AS-04
	Salineras:	AS-05	AS-06

Procedimiento de muestreo: P.MOT.04

Observaciones:

Firma: \_\_\_\_\_ Fecha y Hora: 14/02/22 9:32 AM

Responsable: Cliente / Laboratorio: DISCAR CHIMWAY V. SILVA Firma: \_\_\_\_\_ Fecha y Hora: 14/02/22 9:32 AM

Muestreado por: MAEFANELA CHIMWAY V.

Recepción en Laboratorio: \_\_\_\_\_

Verificación de la recepción de muestra: BH T T T V F

Nota: Solo las muestras para ensayo de metales, tendrán una cadena máxima de 30 días posteriores a la recepción de la muestra en el laboratorio.

Código: F04-P.MOT.04  
 Versión N°: 00  
 Fecha: 06/09/2021

www.equas.com.pe

VHCB/ARG/VHCB

Pág. .... de ....







## Apéndice 4

### Informes de análisis microbiológicos

#### INFORME DE ENSAYO N° A0172/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique –  
Huancabamba - Piura

**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L.  
MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba -  
Departamento: Piura

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal

**Fecha de Muestreo** : 14 - Febrero – 2 022  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico – Empresa Solicitante

**Fecha y Hora de Recepción** : 15 - Febrero - 2 022 / 08:49 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 15 al 23 - Febrero - 2 022

Código Interno: L0172/22

PARÁMETROS	0172 - 1 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	M01BP <sup>(b)</sup> (09:15 h) N 9 402 266 – E 653 406 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>			
Coliformes Totales (NMP)	35 x 10 <sup>4</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	16 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 E (ítem 1)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(b)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(c)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

#### REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

#### ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

#### OBSERVACIONES. -

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 23 de Febrero de 2 022.

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimiente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 01  
Fecha: 02-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km.28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 1

## INFORME DE ENSAYO N° A0518/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura  
  
**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura  
  
**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal  
  
**Fecha de Muestreo** : 21 - Marzo – 2 022  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico – Empresa Solicitante  
  
**Fecha y Hora de Recepción** : 22 – Marzo - 2 022 / 08:09 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 22 al 26 - Marzo - 2 022

Código Interno: L0518/22

PARÁMETROS	0518 – 1 <sup>(a)</sup>	0518 – 2 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTL1A <sup>(b)</sup> (09:15 h) N 9 402 265 – E 0 653 404 <sup>(c)</sup>	MTL2B <sup>(b)</sup> (09:18 h) N 9 402 265 – E 0 653 401 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	3.287 x 10 <sup>3</sup>	2.352 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	2.118 x 10 <sup>3</sup>	1.887 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 E (ítem 1)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(b)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(c)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 26 de Marzo de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 01  
Fecha: 02-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0518/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura

**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal

Fecha de Muestreo : 21 - Marzo – 2 022  
 Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 22 – Marzo - 2 022 / 08:09 h  
 Fecha de Ejecución del Ensayo: 22 al 26 - Marzo - 2 022

Código Interno: L0518/22

PARÁMETROS	0518 – 3 <sup>(a)</sup>	0518 – 4 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTL3C <sup>(b)</sup> (09:21 h) N 9 402 264 – E 0 653 405 <sup>(c)</sup>	MTH1D <sup>(b)</sup> (09:24 h) N 9 402 266 – E 0 653 403 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	2.321 x 10 <sup>3</sup>	99.071 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	1.199 x 10 <sup>3</sup>	2.4 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(b)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(c)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 26 de Marzo de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
 Revisión: 01  
 Fecha: 02-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0518/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura  
  
**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura  
  
**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal  
  
**Fecha de Muestreo** : 21 - Marzo – 2 022  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico – Empresa Solicitante  
  
**Fecha y Hora de Recepción** : 22 – Marzo - 2 022 / 08:09 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 22 al 26 - Marzo - 2 022

Código Interno: L0518/22

PARÁMETROS	0518 – 5 <sup>(a)</sup>	0518 – 6 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTH2E <sup>(b)</sup> (09:27 h) N 9 402 267 – E 0 653 400 <sup>(c)</sup>	MTH3F <sup>(b)</sup> (09:30 h) N 9 402 265 – E 0 653 406 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	33.521 x 10 <sup>3</sup>	24.012 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	3.085 x 10 <sup>3</sup>	3.987 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 E (ítem 1)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(b)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(c)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 26 de Marzo de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 01  
Fecha: 02-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 3 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0678/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura

**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal

Fecha de Muestreo : 06 - Abril – 2 022  
 Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 07 – Abril - 2 022 / 08:20 h  
 Fecha de Ejecución del Ensayo : 07 al 12 - Abril- 2 022

Código Interno: L0678/22

PARÁMETROS	0678 – 1 <sup>(a)</sup>	0678 – 2 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MLT1G <sup>(b)</sup> (09:10 h) N 9 402 265 – E 0 653 404 <sup>(c)</sup>	MTL2H <sup>(b)</sup> (09:13 h) N 9 402 265 – E 0 653 401 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	1.140 x 10 <sup>3</sup>	7.931 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	163	254	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(\*)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(\*)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(\*)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 12 de Abril de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
 Revisión: 01  
 Fecha: 12-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0678/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura  
**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura  
**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal  
**Fecha de Muestreo** : 06 - Abril – 2 022  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico – Empresa Solicitante  
**Fecha y Hora de Recepción** : 07 – Abril - 2 022 / 08:20 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 07 al 12 - Abril- 2 022

Código Interno: L0678/22

PARÁMETROS	0678 – 3 <sup>(a)</sup>	0678 – 4 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTL3J <sup>(b)</sup> (09:16 h) N 9 402 264 – E 0 653 405 <sup>(c)</sup>	MTH1J <sup>(b)</sup> (09:28 h) N 9 402 266 – E 0 653 403 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	3.5 x 10 <sup>3</sup>	92 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	157	3.301 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(\*)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(\*)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(\*)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 12 de Abril de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 01  
Fecha: 12-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0678/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura  
**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura  
**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal  
**Fecha de Muestreo** : 06 - Abril – 2 022  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico – Empresa Solicitante  
**Fecha y Hora de Recepción** : 07 – Abril - 2 022 / 08:20 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 07 al 12 - Abril- 2 022

Código Interno: L0678/22

PARÁMETROS	0678 – 5 <sup>(a)</sup>	0678 – 6 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTH3L <sup>(b)</sup> (09:31 h) N 9 402 265 – E 0 653 406 <sup>(c)</sup>	MTH2K <sup>(b)</sup> (09:34 h) N 9 402 267 – E 0 653 400 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	17.562 x 10 <sup>3</sup>	14 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	5.321 x 10 <sup>3</sup>	4.812 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(a)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(b)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(c)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS.** -

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA.** -

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES.** -

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 12 de Abril de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 01  
Fecha: 12-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 3 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0796/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura  
  
**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura  
  
**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal  
  
**Fecha de Muestreo** : 18- Abril – 2 022  
**Responsable del Muestreo** : Personal Técnico – Empresa Solicitante  
  
**Fecha y Hora de Recepción** : 19 – Abril - 2 022 / 08:09 h  
**Fecha de Ejecución del Ensayo** : 19 al 27 - Abril- 2 022

Código Interno: L0796/22

PARÁMETROS	0796 – 1 <sup>(a)</sup>	0796 – 2 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTL1M <sup>(b)</sup> (09:36 h) N 9 402 265 – E 0 653 404 <sup>(c)</sup>	MTL2N <sup>(b)</sup> (09:39 h) N 9 402 265 – E 0 653 401 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	1.012 x 10 <sup>3</sup>	2.123 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	299	329	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(\*)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(\*)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(\*)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 27 de Abril de 2 022.

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
Revisión: 01  
Fecha: 12-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 1 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0796/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura

**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal

Fecha de Muestreo : 18- Abril – 2 022  
 Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 19 – Abril - 2 022 / 08:09 h  
 Fecha de Ejecución del Ensayo : 19 al 27 - Abril- 2 022

Código Interno: L0796/22

PARÁMETROS	0796 – 3 <sup>(a)</sup>	0796 – 4 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTL3N <sup>(b)</sup> (09:42 h) N 9 402 264 – E 0 653 405 <sup>(c)</sup>	MTH10 <sup>(b)</sup> (09:23 h) N 9 402 266 – E 0 653 403 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	4.326 x 10 <sup>3</sup>	13.011 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	452	450	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(\*)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(\*)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(\*)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 27 de Abril de 2 022.

*Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.*

*Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.*

*Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.*

*El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.*

Código: F01-P.DIR.04  
 Revisión: 01  
 Fecha: 12-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 2 de 3

## INFORME DE ENSAYO N° A0796/22

**Solicitante** : MARIANELA CHINCHAY VÁSQUEZ  
**Dirección** : Caserío Huando Bajo, San Miguel del Faique – Huancabamba - Piura

**Procedencia** : EFICIENCIA REMEDIADORA DE H. RANUNCULOIDES Y L. MINOR EN POZA DE OXIDACIÓN EN SMDEF – 2022  
 Distrito: San Miguel del Faique - Provincia: Huancabamba - Departamento: Piura

**Matriz de la Muestra** : Agua Residual Municipal

Fecha de Muestreo : 18- Abril – 2 022  
 Responsable del Muestreo : Personal Técnico – Empresa Solicitante

Fecha y Hora de Recepción : 19 – Abril - 2 022 / 08:09 h  
 Fecha de Ejecución del Ensayo : 19 al 27 - Abril- 2 022

Código Interno: L0796/22

PARÁMETROS	0796 – 5 <sup>(a)</sup>	0796 – 6 <sup>(a)</sup>	Expresado en:	MÉTODOS DE ENSAYO
	MTH2P <sup>(b)</sup> (09:27 h) N 9 402 265 – E 0 653 406 <sup>(c)</sup>	MTH3Q <sup>(b)</sup> (09:33 h) N 9 402 267 – E 0 653 400 <sup>(c)</sup>		
<b>Microbiológicos</b>				
Coliformes Totales (NMP)	21.879 x 10 <sup>3</sup>	9.2 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL	APHA 9221 B
Coliformes Termotolerantes (NMP)	617	351	NMP/100 mL	APHA 9221 E (Ítem 1)

<sup>(\*)</sup> Código de Laboratorio

<sup>(\*)</sup> Código del Solicitante y hora de muestreo

<sup>(\*)</sup> Ubicación en coordenadas UTM WGS 84

**REFERENCIA DE MÉTODOS ANALÍTICOS. -**

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 23 rd Ed. APHA, AWWA WEF, 2017.

**ESTADO Y CONDICIÓN DE LA MUESTRA. -**

Las muestras cumplen con los requisitos de calidad para ser analizadas.

**OBSERVACIONES. -**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

Lima, 27 de Abril de 2 022.

Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización del Gerente General – EQUAS S.A.

Los resultados obtenidos se refieren solamente a las muestras ensayadas.

Los resultados de los ensayos obtenidos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El laboratorio mantendrá en custodia por 30 días, la muestra dirimente para los ensayos de metales, la solicitud de dirimencia ante la comisión debe realizarse diez días útiles antes de su vencimiento.

Código: F01-P.DIR.04  
 Revisión: 01  
 Fecha: 12-11-2 021

Dirección de Laboratorio: Mz.1 Lote 74, Urb. Naranjito – Puente Piedra, alt. del Km. 28,5 de la Pan. Norte  
 Teléfonos: 548-4976 / 349-4050 e\_mail: info@equas.com.pe

Página 3 de 3

## Apéndice 5

### *Crecimiento vegetal de las especies macrófitas*

N°	Tiempo	Fecha de evaluación	Repeticiones	Especie macrófita	
				<i>Lemna minor L.</i> (g)	<i>Hydrocotyle ranunculoides L. f.</i> (g)
1	Día 1	14/02/2022	1	42	26
2	Día 1	14/02/2022	2	42	26
3	Día 1	14/02/2022	3	42	26
4	Día 63	18/04/2022	1	90	145
5	Día 63	18/04/2022	2	103	144
6	Día 63	18/04/2022	3	99	202

## Apéndice 6

### Resultados de análisis de parámetros en campo y laboratorio

N°	Especie	Tratamientos	Tiempo (Días)	Repeticiones	Parámetros fisicoquímicos			Parámetros microbiológicos	
					pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Coliformes totales (NMP/100 ml)
1	Línea base	T0	Día 1	-	7,53	20,8	1450	16000	350000
2	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 35	1	7,53	24,6	521	2400	99071
3	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 35	2	7,78	23,6	603	3085	33521
4	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 35	3	7,67	24,2	438	3987	24012
5	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 49	1	7,72	23,1	542	3301	92000
6	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 49	2	7,81	22,0	588	4812	14000
7	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 49	3	7,97	22,4	526	5321	17562
8	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 63	1	7,96	21,0	515	450	13011
9	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 63	2	7,93	21,5	554	617	21879
10	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	T1	Día 63	3	7,88	21,6	389	351	9200
11	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 35	1	7,41	24,6	450	2118	3287
12	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 35	2	7,36	24,6	531	1887	2352
13	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 35	3	7,44	24,0	513	1199	2321
14	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 49	1	7,25	22,4	483	163	1140
15	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 49	2	7,33	22,2	457	254	7931
16	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 49	3	7,42	21,9	533	157	3500
17	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 63	1	7,19	21,8	410	299	1012
18	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 63	2	7,41	21,5	421	329	2123
19	<i>Lemna minor</i> L.	T2	Día 63	3	7,12	21,4	447	452	4326

## Apéndice 7

*Pruebas de normalidad para los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos*

a) Prueba Shapiro-Wilk para los resultados de temperatura (°C)

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P - valor</b>
Día 63	T1	3	21,37	0,32	0,87	0,296
Día 63	T2	3	21,57	0,21	0,92	0,463

b) Prueba Shapiro-Wilk para los resultados de pH

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P - valor</b>
Día 63	T1	3	7,92	0,04	0,98	0,723
Día 63	T2	3	7,24	0,15	0,92	0,444

c) Prueba Shapiro-Wilk para para los resultados de conductividad eléctrica (µS/cm)

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P - valor</b>
Día 63	T1	3	486	86,24	0,92	0,435
Día 63	T2	3	426	19	0,95	0,565

d) Prueba Shapiro-Wilk para los resultados de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P - valor</b>
Día 63	T1	3	472,67	134,44	0,98	0,717
Día 63	T2	3	360	81,07	0,89	0,354

e) Prueba Shapiro-Wilk para los resultados de coliformes totales (NMP/100 ml)

<b>Tiempo</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>n</b>	<b>Media</b>	<b>D.E.</b>	<b>W*</b>	<b>P - valor</b>
Día 63	T1	3	14696,67	6505,4	0,95	0,567
Día 63	T2	3	2487,00	1686,7	0,97	0,640

## Apéndice 8

### Panel fotográfico



*Nota.* Excavación de hoyos para colocación de postes de guayaquil.



*Nota.* Armado de soportes para techo.



*Nota.* Colocación de calamina translúcida.



Nota. Armado de techo y enmallado.



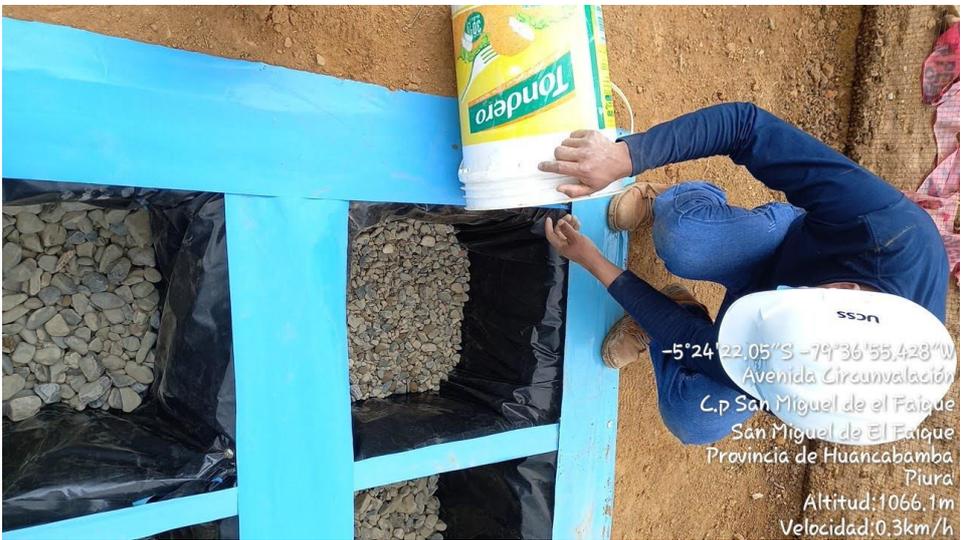
Nota. Excavación de piscinas experimentales.



Nota. Cierre del perímetro del área experimental con cinta de seguridad y alambre de púas.



Nota. Forrado de unidades experimentales con plástico negro.



Nota. Colocación de agregados en cada unidad experimental.



Nota. Colocación de tierra a cada unidad experimental.



Nota. Recolección de agua residual a tratar.



Nota. Especies macrófitas para el tratamiento con el agua residual.



Nota. Inicio de adaptación de especies macrófitas.



Nota. Calibración de multiparámetro para toma de análisis fisicoquímicos del agua residual.



Nota. Toma de muestras para análisis microbiológicos del agua residual.



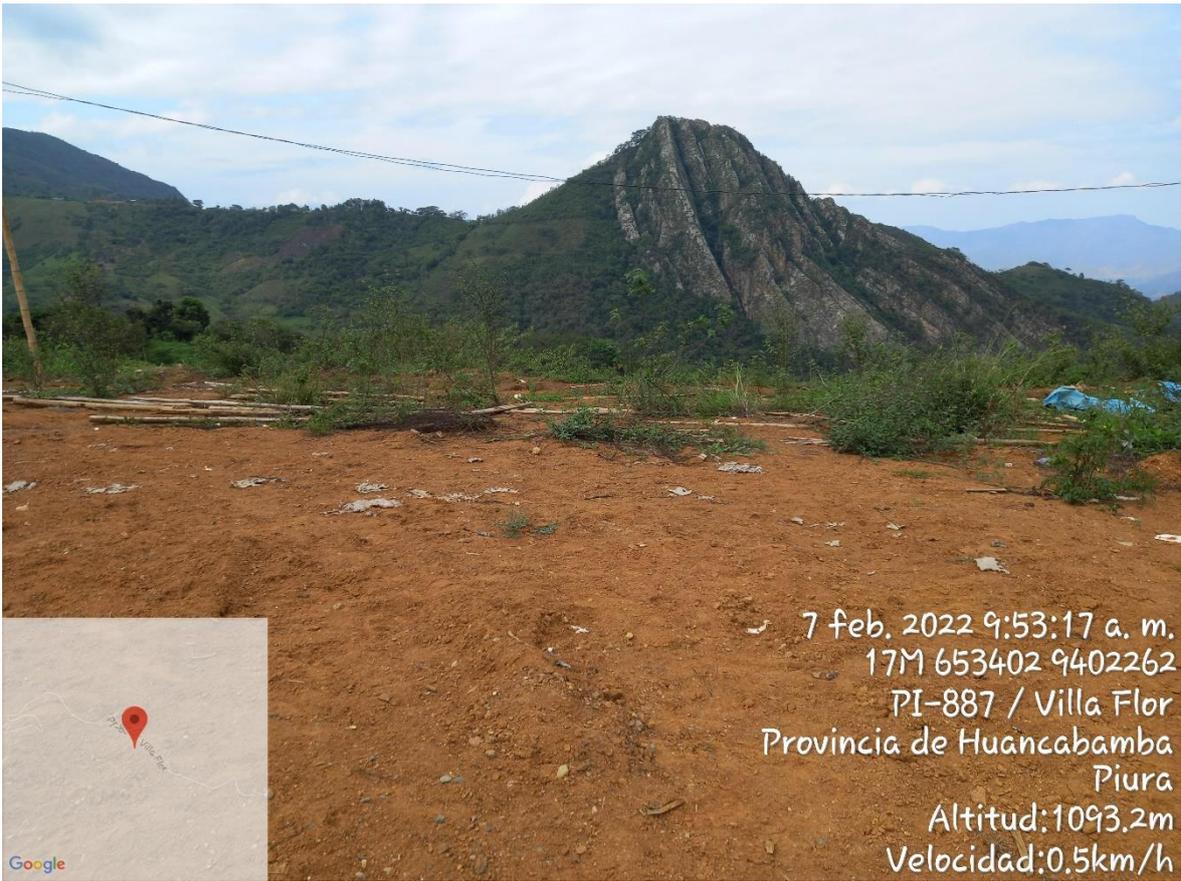
Nota. Siembra de especies macrófitas.



*Nota.* Almacenamiento de muestras microbiológicas para su posterior transporte al laboratorio.



*Nota.* Monitoreo de especies macrófitas.



Nota. Fotos del antes y después del terreno donde se ejecutó el proyecto de investigación.