

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

---

**“Eficiencia de humedales con las macrófitas zantedeschia aethiopica (cartucho) y calceolaria tripartita (zapatitos de ángel) en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024”**

---

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

**AUTOR: Perez Zuñiga, Jamil Nidzon**

**ASESOR: Ramos Dueñas, Rudy Milner**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2024**

# U

### TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis ( X )
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Contaminación Ambiental  
**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)**

### CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería ambiental

**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica

### DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio ( X )
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

# D

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 75444553

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22503170

Grado/Título: Maestro en administración de la educación

Código ORCID: 0000-0003-4798-5575

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708
2	Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	46378040	0000-0002-3013-8532
3	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288

# H



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 05 del mes de noviembre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

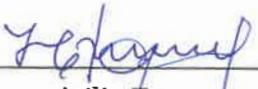
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente)
- Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Secretario)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 2428-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICIENCIA DE HUMEDALES CON LAS MACRÓFITAS *Zantedeschia aethiopica* (cartucho) Y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA ZONA RURAL DE HUARICHACA - HUÁNUCO 2024"**, presentado por el (la) Bach. **PÉREZ ZUÑIGA, JAMIL NIDZON**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) aprobado Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de bueno (Art. 47)

Siendo las 18:24 horas del día 05 del mes de noviembre del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal  
DNI: 22411008  
ORCID: 0000-0001-5319-4708  
Presidente

  
Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia  
DNI: 46378040  
ORCID: 0000-0002-3013-8532  
Secretario

  
Mg. Milton Edwin Morales Aquino  
DNI: 44342697  
ORCID: 0000-0002-2250-3288



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JAMIL NIDZON PEREZ ZUÑIGA, de la investigación titulada “Eficiencia de humedales con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* (cartucho) y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024”, con asesor RUDY MILNER RAMOS DUEÑAS, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2123-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 09 de octubre de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

### 3. PEREZ ZUÑIGA, JAMIL NIDZON.docx

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>21</b> %	<b>22</b> %	<b>7</b> %	<b>5</b> %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>6</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.udh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.uchile.cl</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %



**RICHARD J. SOLIS TOLEDO**  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



**FERNANDO F. SILVERIO BRAVO**  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

## **DEDICATORIA**

A dios la guía divina que ha estado presente en cada paso de este viaje, a mis padres por apoyarme incondicionalmente y su ejemplo constante, me han enseñado a no rendirme nunca, a mis hermanos por ser el ejemplo a seguir, a todos aquellos que creen en el poder del conocimiento y la búsqueda constante de la verdad

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres. A María y *Eulogio* quienes siempre me han apoyado en cada paso de mi camino académico y personal. Su amor incondicional y su ejemplo de perseverancia han sido mi mayor inspiración.

A mis queridos hermanos, quienes han sido mi apoyo constante y han compartido conmigo las alegrías y los desafíos de este viaje académico. A *Christian, A Marvin, A Arlette, Edson y mi sobrino Gerard*, gracias por estar siempre a mi lado.

A mis amigos y compañeros de estudio, por compartir risas, desafíos y momentos inolvidables durante esta travesía académica.

A mis profesores, cuya sabiduría y guía han moldeado mi pensamiento crítico y mi pasión por la investigación.

Y finalmente, a la Universidad de Huánuco, por brindarme la oportunidad de crecer, aprender y contribuir al conocimiento.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPÍTULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	16
1.3. OBJETIVOS.....	16
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.4.1. LINEA DE INVESTIGACIÓN.....	17
1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	17
1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	17
1.4.4. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	18
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.6.1. VIABILIDAD TÉCNICA.....	18
1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA.....	18
1.6.3. VIABILIDAD AMBIENTAL.....	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	20
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES.....	22

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES .....	25
2.2. BASES TEORICAS.....	28
2.2.1. AGUA RESIDUALES.....	28
2.2.2. PARÁMETROS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	29
2.2.3. MÉTODOS DE RECOJO DE AGUAS RESIDUALES .....	30
2.2.4. LA CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL GENERADA .....	31
2.2.5. LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS .....	33
2.2.6. LOS HUMEDALES .....	36
2.2.7. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES.....	42
2.2.8. FUNCIONES DE LAS MACRÓFITAS EN LA REMOCIÓN.....	45
2.2.9. PLANTAS MACROFITAS.....	47
2.2.10.LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP) .....	50
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	50
2.4. HIPÓTESIS .....	52
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	52
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS .....	52
2.5. VARIABLES .....	53
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	53
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	53
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	54
CAPÍTULO III .....	55
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	55
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	55
3.1.1. ENFOQUE .....	55
3.1.2. ALCANCE O NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	55
3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	56
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	60
3.2.1. POBLACIÓN .....	60
3.2.2. MUESTRA .....	60
3.3. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	60
3.4. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS.....	64
3.5. PARA EL ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS.....	64
CAPÍTULO IV.....	65
RESULTADOS.....	65

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	65
4.1.1. RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DE LOS HUMEDALES H1 .....	65
4.1.2. RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DE LOS HUMEDALES H2.....	72
4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS .....	78
4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS .....	85
4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	85
4.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA .....	86
CAPÍTULO V.....	91
CONTRASTACION DE LOS RESULTADOS.....	91
CONCLUSIONES .....	94
RECOMENDACIONES.....	95
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96
ANEXOS.....	104

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Mecanismos de remoción de contaminantes en sistema de tratamiento con macrofitas.....	43
Tabla 2 Comparación entre diferentes sistemas de flujo de humedales.....	47
Tabla 3 Importancia de los componentes de las macrófitas .....	48
Tabla 4 Taxonomía del cartucho.....	49
Tabla 5 Taxonomía de zapaticos de ángel .....	50
Tabla 6 Límites máximos permisibles D.S N° 003 – 2010 - MINAM .....	50
Tabla 7 Operacionalización de variables .....	54
Tabla 8 Cálculo de caudal promedio.....	57
Tabla 9 Métodos de ensayo de análisis de laboratorio .....	62
Tabla 10 Descripción de realización de muestreo por parámetro .....	62
Tabla 11 Materiales y equipos para el muestreo de efluente.....	63
Tabla 12 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro DQO .....	65
Tabla 13 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro DBO.....	66
Tabla 14 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro pH.....	67
Tabla 15 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro SST.....	68
Tabla 16 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro A y G.....	69
Tabla 17 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro OD .....	70
Tabla 18 Humedal H1 Calceolaria Tripartita - Parámetro Coliformes totales	71
Tabla 19 Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro DQO .....	72
Tabla 20 Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro DBO.....	73
Tabla 21 Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro SST .....	74
Tabla 22 Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro A y G.....	75
Tabla 23 Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro OD .....	76
Tabla 24 Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro Coliformes totales .....	77
Tabla 25 Parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con Macrófita Zantedeschia aethiopica (cartucho de agua) en Huarichaca, Huánuco 2024 .....	78
Tabla 26 Parámetros microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con macrófita Zantedeschia aethiopica (cartucho de agua) en Huarichaca, Huánuco 2024 .....	80

Tabla 27 Parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con Macrófita Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel) en Huarichaca, Huánuco 2024.....	81
Tabla 28 Parámetros microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con macrófita Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel) en Huarichaca, Huánuco 2024.....	83
Tabla 29 Parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas .....	84
Tabla 30 Parámetros microbiológicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas .....	84
Tabla 31 Significancia en los parámetros del humedal con Zantedeschia aethiopica (Cartucho de agua).....	85
Tabla 32 Significancia en los parámetros del humedal con Calceolaria tripartita (Zapatitos de ángel) .....	85
Tabla 33 Comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos con la implementación de la especie Zantedeschia aethiopica (cartucho de agua) en la depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.....	86
Tabla 34 Comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos con la implementación de la especie Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel) en la depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.....	88
Tabla 35 Comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	39
Figura 2 Humedal subsuperficial de flujo vertical.....	40
Figura 3 Clasificación de macrofitas .....	49
Figura 4 Comparación de parámetro - DQO.....	65
Figura 5 Comparación de parámetros - DBO.....	66
Figura 6 Comparación de parámetros por muestra – pH.....	67
Figura 7 Comparación de parámetros por muestra - SST .....	68
Figura 8 Comparación de parámetros por muestra - A y G .....	69
Figura 9 Comparación de parámetros por muestra - OD.....	70
Figura 10 Comparación de parámetros por muestra - Coliformes totales....	71
Figura 11 Comparación de resultados por parámetro – DQO .....	72
Figura 12 Comparación de resultados por parámetro – DBO .....	73
Figura 13 Comparación de resultados por parámetro – SST.....	74
Figura 14 Comparación de resultados por parámetro – A y G.....	75
Figura 15 Comparación de resultados por parámetro – OD .....	76
Figura 16 Comparación de resultados por parámetro – coliformes totales..	77
Figura 17 Variación de parámetros fisicoquímicos en el humedal h2 con la Macrófita <i>Zantedeschia aethiopica</i> (cartucho de agua) .....	79
Figura 18 Variación de parámetros microbiológicos en el humedal h2 con la Macrófita <i>Zantedeschia aethiopica</i> (cartucho de agua) .....	80
Figura 19 Variación de los parámetros fisicoquímicos promedio de humedal H1 .....	81
Figura 20 Parámetros microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con macrófita <i>Calceolaria Tripartita</i> (zapatitos de ángel) en Huarichaca, Huánuco 2024.....	83

## RESUMEN

La investigación tuvo como Objetivo: Evaluar la eficiencia de humedales artificiales a escala experimental con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zona rural en Huarichaca, Huánuco – 2024. Metodología: estudio de enfoque cuantitativo de nivel aplicativo con diseño experimental, se trabajó con las aguas residuales de afluyente Huarichaca – Huanca rrumi, se utilizó ficha de análisis, lista de verificación, libreta de campo, formatos. Obteniendo como resultados que hay cambios significativos en los parámetros físicos químicos con la implementación de la especie *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) observando significancia  $< 0,05$  en los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas y coliformes totales. Del mismo modo, con la especie *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) se observa significancia  $< 0,05$  en los parámetros de DQO, DBO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y coliformes totales. Y variaciones significativas antes y después de su aplicación de humedales en DBO, DBQ, aceites y grasas y coliformes totales. Llegando a la conclusión que los humedales fueron efectivos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zona rural.

**Palabras claves:** humedales, depuración, aguas residuales, parámetros, macrofitas.

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the efficiency of artificial wetlands on an experimental scale with the macrophytes *Zantedeschia aethiopica* (water cartridge) and *Calceolaria Tripartita* (angel slippers) in the treatment of domestic wastewater in a rural area in Huarichaca, Huánuco – 2024.

**Methodology:** study application-level quantitative approach with experimental design, working with the wastewater of the Huarichaca – Huanca rrumi tributary, analysis sheet, checklist, field notebook, formats were used.

Obtaining as results that there are significant changes in the physical chemical parameters with the implementation of the species *Zantedeschia aethiopica* (water cartridge) observing significance  $< 0.05$  in the parameters of COD, BOD, oils and fats and total coliforms. Similarly, with the species *Calceolaria Tripartita* (angel slippers) a significance  $< 0.05$  is observed in the parameters of COD, BOD, total suspended solids, oils and fats and total coliforms. And significant variations before and after its application of wetlands in BOD, DBQ, oils and fats and total coliforms. Reaching the conclusion that wetlands were effective in the treatment of domestic wastewater in rural areas.

**Keywords:** wetlands, purification, wastewater, parameters, macrophytes.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales domésticas es un desafío global que requiere soluciones sostenibles y eficientes. Las zonas rurales, como Huarichaca en Huánuco, enfrentan problemas críticos debido a la falta de infraestructura adecuada para el saneamiento, lo que afecta la calidad del agua y la salud pública. Este estudio se enfoca en evaluar la eficiencia de humedales artificiales, utilizando las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria tripartita*, como una alternativa natural y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales.

La formulación del problema central es: ¿Cuál es la eficiencia de los humedales con estas macrófitas en el tratamiento de aguas residuales domésticas? Se plantean además problemas específicos relacionados con la eficiencia de cada especie y los cambios en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos antes y después de su aplicación.

La investigación es justificada teóricamente por su contribución al desarrollo de sistemas sostenibles de tratamiento de agua y su impacto práctico al ofrecer una solución viable para comunidades rurales. Desde un enfoque metodológico, el estudio adopta un diseño experimental cuantitativo, evaluando dos humedales construidos a escala experimental con diferentes especies de macrófitas. Los datos fueron recolectados mediante fichas de análisis, listas de verificación y mediciones de laboratorio.

El documento se estructura en cinco capítulos: planteamiento del problema, marco teórico, metodología, resultados, y conclusiones. Entre las limitaciones encontradas están las restricciones de recursos y tiempo, además de posibles variaciones en los parámetros ambientales que podrían influir en los resultados.

Los resultados indican que ambos sistemas de humedales muestran una remoción significativa de contaminantes, con porcentajes superiores al 60% en DBO, DQO, aceites y grasas, y coliformes totales. Esto concluye que los humedales son efectivos, representando una opción viable para mejorar la calidad de vida en comunidades rurales.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En 2020, más de 3 mil millones habitantes del mundo, no contaban con servicios básicos de manera segura. Además, cerca de 494 millones de habitantes aún realizan sus necesidades a campo abierto. Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación del agua, que puede causar males como el cólera, la disentería y la diarrea, provoca la muerte de más de 485 000 personas cada año. La contaminación por agua residual representa un gran daño a nivel global, ya que estas aguas vierten casi de 6 millones de toneladas de nitrógeno anualmente en las aguas costeras, lo que equivale al 40 % de lo generado por los vertidos de la agricultura. Este componente es uno de los contaminantes más dañinos para los mares, porque favorece y contribuye al aumento de algas tóxicas, la eutrofización y la aparición de zonas muertas, según Mongabay (2022).

En Perú, para tratar el agua residual se enfrenta retos importantes. En zonas rurales en gran su mayoría, no existen sistemas de alcantarillado ni plantas de tratamiento, se vierte directamente el agua sin tratar en los ríos o en campo abierto. El crecimiento poblacional, la urbanización y la contaminación son factores clave que agravan esta situación. En las áreas rurales del país, disponer adecuadamente el agua residual doméstica es problema serio, porque la implementación de redes de alcantarillado presenta mayores dificultades debido a varios factores, como la baja densidad poblacional, que afecta la rentabilidad y viabilidad de estas inversiones, y la dispersión geográfica de las viviendas. Esta falta de acceso al saneamiento básico se refleja en que solo el 6 % de la población rural dispone de redes públicas de alcantarillado, y 3 de cada 4 personas en estas zonas carecen de servicios de saneamiento por red pública. En total, aproximadamente 7,5 millones de peruanos no tienen acceso a servicios básicos de saneamiento y alcantarillado. Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2021), solo el 30,2 % de los servicios de saneamiento en áreas

rurales están disponibles.

La región de Huánuco ha visto una notable reducción en su población rural debido a la migración hacia las ciudades, motivada por la búsqueda de mejores oportunidades. La carencia de empleo, educación y servicios esenciales ha provocado el abandono de las áreas rurales, lo que refleja la pobreza y la precariedad que enfrenta la población de estas zonas. Los habitantes rurales están expuestos a contraer enfermedades por falta de sistemas adecuados para tratar sus desechos y aguas residuales, que terminan vertiéndose en ríos, acequias o lagunas. (La ruralidad: un problema y una posibilidad para la juventud. Ayuda en Acción Perú, 2023).

Las zonas rurales de Huánuco carecen de infraestructura básica, como agua potable, saneamiento y electricidad. Muchas comunidades aún dependen de fuentes naturales de agua y no tienen acceso a sistemas de alcantarillado. El vertido directo de agua contaminada sin tratamiento altera la naturaleza de los ríos y arroyos, lo que disminuye la calidad y disponibilidad del agua para consumo humano y agrícola. La exposición a patógenos y contaminantes químicos en el agua tiene consecuencias graves para la salud poblacional. La falta de servicios básicos afecta la calidad de vida, la salud y la productividad de la población rural. Malu (2023).

En el centro poblado de Huarichaca con la falta de infraestructura y sistemas para su tratamiento, la población se enfrenta a diversos problemas provenientes de contaminación de sus ríos, acequias por lo cual según (Lentini, 2011). El agua ha adquirido una importancia cada vez mayor en cuanto a su extensión, calidad, distribución y salubridad en todo el mundo, especialmente en América Latina. Sin embargo, la mayoría de los países de esta región están aún lejos de alcanzar la disponibilidad universal a los servicios básicos, así como de agua potable, y no se hacen los esfuerzos suficientes para garantizar unos niveles de calidad adecuados.

La importancia de este asunto se refiere a la disponibilidad de agua limpia y saneamiento básico en las naciones subdesarrolladas y en América Latina. Aunado con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) que ha reconocido al agua como un derecho humano fundamental, influyendo así en

el progreso socioeconómico de comunidades, áreas urbanas y poblaciones. Nuestro país no está exento de esta circunstancia imperante. Los habitantes del Centro Poblado de Huarichaca se enfrentan a una problemática multifacética por la falta de plantas de tratamiento de agua residuales, por el inadecuado estado de su infraestructura de tratamiento PTAR donde un número importante de pobladores recurren a la práctica de verter sus aguas en los cauces de los ríos progresivamente, poniendo en riesgo su seguridad y su salud. Asimismo, en muchos de los casos aguas abajo otros pobladores consumen y utilizan agua no tratada ni clorada que obtienen de arroyos, acequias, ríos contaminados con aguas servidas sumándose el desconocimiento de la población el verter sus aguas en ríos y acequias con grandes cargas de contaminantes, coliformes y DBO según Arce (2018).

En Huarichaca, la problemática de aguas servidas vertidas directamente al río es un desafío constante, porque no se cuenta con un método de tratamiento para zonas rurales, por lo tanto, sus aguas son vertidas directamente a arroyos, ríos, lagunas que alimentan a la microcuenca del Pachitea. Además, la falta de conciencia ambiental y la deficiente gestión de residuos contribuyen a la problemática local.

En resumen, la calidad del agua en Huarichaca es un problema multidimensional que requiere una evaluación integral y soluciones efectivas para proteger la salud de la población y preservar el entorno.

Considerando lo anterior, se puede plantear que la importancia esta investigación radica en evaluar la eficiencia de las plantas las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria Tripartita* en reducción de contaminantes del agua residual, lo cual el proyecto que investiga la eficiencia de humedales artificiales utilizando macrófitas busca abordar este problema para dar soluciones naturales que puedan ayudar a tratar las aguas residuales domésticas y mejorar la calidad del agua en zonas rurales de Huarichaca.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficiencia de humedales con las macrófitas

*Zantedeschia aethiopica* y *calceolaria tripartita* en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Cuál es la eficiencia de la macrófita *Zantedeschia aethiopica* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca Huánuco 2024?

¿Cuál es la eficiencia de la macrófita *Calceolaria Tripartita* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca, Huánuco 2024?

¿Cuáles son los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas?

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de humedales artificiales a escala experimental con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* (*cartucho de agua*) y *Calceolaria Tripartita* (*zapatitos de ángel*) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zona rural en Huarichaca, Huánuco - 2024

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Evaluar la eficiencia de la macrófita *Zantedeschia aethiopica* (*cartucho de agua*) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca, Huánuco 2024.

Evaluar la eficiencia de la macrófita *Calceolaria Tripartita* (*zapatitos de ángel*) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca, Huánuco 2024.

Evaluar o medir los parámetros físicos químicos de las aguas

residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Es crucial por diversas razones. Busca preservar la salud pública, optimizar recursos, cumplir normativas, fortalecer la confianza comunitaria y minimizar el impacto ambiental. Además, contribuirá al conocimiento en el campo del tratamiento de residuales domésticas en el ámbito rural, siendo esencial para mejorar la calidad de vida de la población y asegurar una adecuada disposición del agua residual doméstica.

##### **1.4.1. LINEA DE INVESTIGACIÓN**

La línea de investigación de acuerdo al vicerrectorado de investigación de la Universidad de Huánuco es:

**Contaminación Ambiental**, Investiga los factores y procesos que originan la creación y propagación de contaminantes en el aire, suelo y agua en áreas urbanas y rurales, además de analizar el grado de exposición de las personas a dichos contaminantes. UDH (2020).

##### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Esta investigación se apoya en principios teóricos que se basa en la necesidad de establecer un marco conceptual sólido que guíe el estudio. Se busca comprender y aplicar los conceptos, categorías y enfoques relevantes para tratar el agua residual generado en zona rural, mediante humedales artificiales. La revisión de antecedentes y teorías existentes permitirá contextualizar el problema y fundamentar la elección de las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria Tripartita* como agentes de tratamiento.

##### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

Radica en la resolución concreta de un problema local. Huarichaca enfrenta desafíos para tratar su agua residual, por lo cual su implementación de los humedales podría ser una solución viable. Estos

sistemas naturales no solo mejorarán la calidad del agua, sino que también contribuirán a la preservación del entorno y la salud de la población.

#### **1.4.4. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

La metodología combina enfoques cuantitativo, analítico y longitudinal para evaluar las macrofitas en humedales artificiales. Se utiliza muestreo representativo, análisis estadísticos y comparación con normativa vigente. La participación comunitaria y el monitoreo continuo fortalecen la validez de los resultados. La metodología busca proporcionar datos detallados, contexto local y resultados confiables para respaldar propuestas de implementación.

#### **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

A pesar del enfoque riguroso de la investigación se reconocen limitaciones que podrían afectar la generalización de los resultados. La ubicación geográfica, el periodo de estudio acotado, restricciones de recursos y la dependencia de datos existentes son factores que podrían influir en la interpretación. Además, eventos externos no controlados y la complejidad de los procesos de tratamiento representan desafíos adicionales. Además, las limitaciones de tiempo del investigador pueden suponer un reto, ya que tendrá que asignar sus horarios de trabajo al crecimiento del estudio.

#### **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **1.6.1. VIABILIDAD TÉCNICA**

Este proyecto de investigación combina la experiencia técnica y las capacidades del investigador, junto con los recursos físicos necesarios, para garantizar la consecución de las metas y objetivos del proyecto.

##### **1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA**

La viabilidad del proyecto de investigación está asegurada, ya que el investigador dispone de los recursos financieros para sufragar todos

los gastos relacionados con el proyecto, junto con los recursos humanos necesarios.

### **1.6.3. VIABILIDAD AMBIENTAL**

La viabilidad de nuestro proyecto radica en sus objetivos medioambientales, centrados específicamente en los recursos hídricos de la región de Huarichaca. Estos objetivos están diseñados para proporcionar una buena influencia en el medio ambiente, beneficiando tanto a la comunidad local como a la sociedad en su conjunto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES**

Gomes (2021) en su tesis titulada: “Diseño de Humedales Artificiales Bogotá 2021”, de la Universidad escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, tuvo como objetivo la Determinación y la aplicabilidad de los criterios que se estableció en el diseño, construcción, operación, mantenimiento y monitoreo del humedal artificial para tratar agua residual. Se aplicó la metodología de realizar una revisión bibliográfica para reunir datos sobre el diseño, construcción, operación, mantenimiento y monitoreo de humedales artificiales, identificando las diferentes estructuras disponibles y sus condiciones de instalación. Los resultados obtenidos muestran que la eficiencia del sistema de tratamiento cumple con las normativas establecidas para el vertido seguro en el pozo artificial. La eficacia de remoción para la DBO5 alcanza el 89%, mientras que la reducción de los sólidos suspendidos totales (SST) es del 95%. En cuanto a la eliminación total de nitrógeno y fósforo, los valores promedio son del 74% y 60%, Se concluyó que los humedales artificiales muestran diversas características que respaldan su uso como un método eficiente para tratar aguas residuales de diferentes fuentes. El éxito en la eliminación de contaminantes depende de un diseño adecuado y de una operación bien gestionada. Estas estructuras son particularmente sensibles a los cambios en el nivel de los contaminantes en el agua entrante. La elección incorrecta de los materiales en el sustrato o la falta de un mantenimiento adecuado pueden reducir significativamente su eficiencia y acortar su vida útil. Además, el grado de crecimiento de las plantas dentro del humedal es importante para el procesamiento de la materia orgánica presente en los efluentes.

Atariguana et al. (2021) en su tesis titulada: “Diseño sistemas de

tratamiento de aguas residuales con humedal artificial para el recinto Fátima en el cantón San Fernando – Ecuador 2021”, de la Universidad de Cuenca, tuvo como objetivo Diseñar un sistema de humedal artificial para el tratamiento del agua residual del recinto Fátima en el cantón San Fernando. El estudio se realizó utilizando la metodología de evaluación multicriterio (EMC), que facilita la toma de decisiones para resolver problemas, considerando diversos criterios basados en las opiniones de las partes involucradas dentro de un marco de análisis único, permitiendo una visión global y una solución integral. Actualmente, este enfoque, que tuvo sus orígenes en la economía, ha evolucionado y se ha integrado con otras disciplinas, como los sistemas de información geográfica. Los resultados señalan que con una eficiencia del 75% del humedal, El diseño del sistema incluye las siguientes fases clave: pre y post-tratamiento y humedal artificial. Las medidas de las estructuras de estas fases, como el canal de desbaste, el tanque Imhoff y los dos humedales, han sido graficados en planos con vistas y cortes variados para mejorar su interpretación, así como un esquema en 3D que facilitará la construcción. Concluye que el tamaño de los humedales se basó en la eliminación de la DBO5, logrando una concentración final de 41,25 mg/l, que cumple con los requisitos de la normativa ecuatoriana actual (TULSMA). Según estudios recientes, un diseño centrado en la DBO5 también garantiza la eliminación de sólidos suspendidos, ya que los humedales de flujo vertical son más efectivos.

Domínguez (2022). Memoria para optar al título de ingeniera civil. “Evaluación del desempeño operacional de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas – Chile 2020”. Universidad de Chile. Su objetivo es ayudar en la evaluación del desempeño del humedal construido, en relación a su capacidad que tiene para eliminar contaminantes del agua residual, el cual se representa la variabilidad e incertidumbre del sistema a partir de la modificación en las variables de entrada (concentración) y parámetros ambientales tales como, temperatura y humedad relativa, utilizando un modelo de simulación. La metodología utilizada es el análisis de

sensibilidad, evaluación de casos y simulación. En esta última categoría, se encuentra la simulación de Monte Carlo, que se emplea para obtener soluciones aproximadas a problemas matemáticos computacionales. Este método selecciona una o más variables aleatorias del sistema a analizar, cada una con su propia función de distribución de probabilidad, como normal, binomial, Poisson, uniforme, entre otras. Durante las primeras mediciones, las concentraciones de salida de DQO se sobreestiman significativamente, con diferencias de hasta 300 mg/l. Esto se ocurre porque la concentración de entrada al inicio del periodo es mayor que en la salida, y estos modelos son altamente sensibles a las concentraciones de entrada. Sin embargo, los datos medidos indican que, a pesar de las altas concentraciones de entrada, estas no superan los 130 mg/l en ningún momento. En cuanto al modelo de régimen transigente, el HC-FH muestra concentraciones menores que las medidas, aunque la diferencia no supera los 5 mg/l, excepto al final del periodo, donde las concentraciones del modelo disminuyen mientras que los datos medidos aumentan. El estudio concluyó con la formulación e implementación de modelos en régimen permanente y transigente para determinar las concentraciones de salida en humedales horizontales y verticales. No obstante, la validación arrojó resultados variados según el tipo de contaminante analizado. Además, se aplicó el método de Monte Carlo para la propagación de incertidumbre en las concentraciones de salida de tres contaminantes específicos: coliformes totales, amonio y fosfato, considerando tanto la condición ambiental y concentración de entrada. Esta metodología complementa el análisis y construcción de humedales piloto, proporcionando una mayor precisión en la evaluación del desempeño de estos sistemas.

### **2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES**

Mena (2022). En su tesis titulada: "Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos"; tuvo como objetivo la Determinación del grado de eficacia de la aplicación de

un sistema de humedal artificial a escala piloto, para tratar efluentes domésticos en el caserío de Nueva Esperanza. En la metodología, la tesis se fundamenta en el enfoque cuantitativo y se clasifica como aplicada, ya que se han utilizado conocimientos científicos preexistentes. Se identificó la planta más adecuada para la eliminación de contaminantes con el fin de resolver el problema planteado, empleando un diseño experimental con un grupo de control y un grupo experimental. Para ello, se instaló un humedal a escala piloto representativo de una casa típica, considerando que el agua residual doméstica proviene de aguas servidas y que no hay industrias que utilicen reactivos u otros componentes químicos. Los resultados obtenidos demostraron una alta eficiencia en la eliminación de metales pesados mediante la implementación del humedal artificial a escala piloto para tratar el agua residual doméstica. Los resultados son: para el níquel (Ni), el carricillo logró una eliminación del 79.9%, el junco del 83.0% y el jacinto de agua del 94.73%. En cuanto al plomo (Pb), el carricillo alcanzó un 60.23%, el junco un 61.23% y el jacinto de agua un 84.36%. Para el cadmio (Cd), los porcentajes de eliminación fueron 29.11% para el carricillo, 51.90% para el junco y 78.48% para el jacinto de agua. Las conclusiones fueron las siguientes: el tratamiento del agua residual doméstica con un sistema de humedal construido a escala piloto, con especies macrófitas como *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), *Schoenoplectus colifornicus* (junco) y *Phragmites australis* (carricillo), logró una eliminación significativa y eficaz de contaminantes químicos y metales pesados, siendo el jacinto de agua la planta eficaz en el proceso. Además, se observaron mejoras en parámetros físicoquímicos en: DBO, DQO, grasas y aceites. Las conclusiones muestran un nivel de eficiencia positivo al implementar un sistema de humedal artificial (wetland) en el tratamiento a escala piloto de agua residual doméstica, se lograron los siguientes niveles: para la DBO, el carricillo alcanzó un 46%, el junco un 70% y el jacinto de agua un 72%. En cuanto a la DQO, los resultados fueron 40% para el carricillo, 58% para el junco y 68% para el jacinto de agua. Respecto a los aceites y grasas, se obtuvieron porcentajes de eliminación del 37% para el carricillo, 62% para el junco y 66% para el

jacinto de agua.

Damián et al (2021). En su tesis titulada: “Efecto del humedal artificial Waylla Ichu (*calamagrostis rigida*). en el tratamiento de aguas servidas del barrio de Santa Ana-Huancavelica 2021”, de la Universidad Cesar Vallejo, tuvo por objetivo principal: Determinar el efecto del humedal artificial waylla ichu (*Calamagrostis rigida*); en el tratamiento de aguas servidas del barrio de Santa Ana – Huancavelica, 2021. Este estudio se llevó a cabo utilizando una metodología de diseño analítico. La investigación se clasificó como aplicada. Se empleó un diseño cuasiexperimental, ya que se manipuló una variable para evaluar su impacto en otra. Este diseño generalmente incluye un pre-análisis y un post-análisis. (Belli, 2015). Los resultados muestran que la concentración de DQO antes del tratamiento supera los límites máximos permisibles, y luego del tratamiento se encontraba dentro de los LMPs para efluentes, con una remoción del 84.87% gracias a los humedales artificiales. En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), se observó que el tratamiento con el humedal artificial Waylla Ichu tuvo un impacto significativo, mostrando una diferencia entre los datos de entrada y salida. El tratamiento de los humedales artificiales demostró ser efectivo en la reducción de la DBO5, logrando niveles debajo de los límites máximos permisibles para efluentes (LMP=100). Antes del tratamiento, la concentración de DBO5 estaba por encima de estos límites. Se determinó que el humedal artificial de Waylla Ichu (*Calamagrostis rigida*) son altamente eficientes en el tratamiento de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, logrando una remoción de hasta 92.39% en DBO5, 84.87% en DQO, 84.29% en SST y 36.67% en CTT en el agua residual del pueblo de Santa Ana. Además, los parámetros tratados se ajustan a los LMP para efluentes. El sistema operó con una temperatura de inicial promedio de 13.6 °C y una temperatura de final de 14.1 °C, con un pH de entrada de 7.7 y un pH de salida de 7.6, demostrando la efectividad del humedal durante el proceso.

Neira (2020). En su tesis titulada: “Humedales artificiales en el

tratamiento de aguas residuales-Morropón 2020”, de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, tuvo como objetivo Realizar un análisis exhaustivo de información sobre los tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el último trimestre del 2020. La investigación adoptó una metodología descriptiva, enfocada en exponer los aspectos más relevantes de una situación o hecho, a través de un diseño no experimental basado en la revisión de fuentes documentales y bibliográficas, como libros, tesis y normas. La información recopilada sobre los tipos de humedal empleados para el tratamiento de aguas residuales proviene de fuentes confiables. Tras obtener la información, se sintetizó y se organizó de manera clara para su análisis. Los humedales artificiales se categorizan por el tipo de macrófitas que utilizan, las cuales pueden estar enraizadas al sustrato o flotar libremente. Estas macrófitas se dividen en sistemas con plantas flotantes, sumergidas y emergentes, y estos últimos se subdividen en humedales de flujo superficial y subsuperficial (ya sea vertical u horizontal). Los humedales artificiales son una tecnología eficaz para eliminar sólidos suspendidos, materia orgánica, DBO5 y DQO. Las macrófitas flotantes más comunes son el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna minor*), destacando el jacinto por su alta eficiencia en la eliminación de coliformes y materia orgánica. Entre las macrófitas emergentes más usadas están *Phragmites*, *Scirpus* y *Typha*, con *Phragmites* destacando en la transferencia de oxígeno a través de sus rizomas. Las macrófitas sumergidas más frecuentes son *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton*, *Elodea canadiense* y *Vallisneria americana*.

### **2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES**

Carhuaricra P. (2019). En su tesis titulada: “Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de pacaypampa, distrito de santa maría del valle (Huánuco), agosto –

setiembre del 2018”, de la Universidad de Huánuco, tuvo como objetivo Determinar la capacidad fitorremediadora por el proceso de fitodegradación a escala experimental con dos especies acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, Distrito de Santa María del Valle (Huánuco), agosto – Setiembre 2018. La investigación siguió un enfoque cuantitativo, en el cual se evaluaron las variables relacionadas con el tiempo que tarda en salir del sistema. Este método cuantitativo utilizó el recojo de datos para comprobar la hipótesis a través de mediciones y análisis de estadística, con la finalidad de conocer patrones de comportamiento y validar teorías. Metodología de la Investigación quinta Edición. Sampieri et al. Se concluyó que, a través de un experimento a escala, se evaluó la capacidad de fitorremediación mediante fitodegradación utilizando dos plantas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes*, para tratar agua residual de la laguna facultativa en Pacaypampa, Distrito de Santa María del Valle. Los resultados en el laboratorio mostraron que, para el parámetro de sólidos totales en suspensión, se obtuvo un nivel de significancia de 0.048, inferior a 0.05, lo que llevó a rechazar la hipótesis nula. Con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, se evidenció una correlación estadística significativa de -0.865, indicando una alta correlación negativa entre las variables. Esto demuestra que, a mayor tiempo de retención en el sistema, menor es la cantidad de sólidos totales en suspensión. Los resultados indican que los niveles están por debajo de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR. Se observó una relación entre el tiempo de retención de agua residual y la fitorremediación, considerando los parámetros fisicoquímicos en un sistema experimental con las especies *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes*. La prueba estadística de correlación mostró que, a mayor tiempo de retención, menor es la cantidad de parámetros físico-químicos. Asimismo, se identificó una relación similar para los parámetros microbiológicos, donde un mayor tiempo de retención resultó en una menor cantidad de estos parámetros.

Mayta N. (2022). En su tesis titulada: “Efecto del humedal artificial de flujo subsuperficial con plantas acuáticas (*phragmites australis*) en la biorremediación de aguas residuales, en las instituciones educativas del distrito de Amarilis – Huánuco”, de la Universidad de Huánuco tuvo como objetivo Determinar el efecto del humedal artificial de flujo subsuperficial con plantas acuáticas (*Phragmites Australis*) en la biorremediación de aguas residuales de los colegios del distrito de Amarilis- Huánuco. Se empleó una metodología basada en la intervención directa del investigador, caracterizando la investigación como experimental. Según Supo. (2014), este tipo de estudios establece una relación de causa y efecto. En cuanto a la planificación del análisis de la variable de estudio, la investigación es de naturaleza prospectiva, lo que implica que el investigador gestiona y recoge sus propias mediciones, participando activamente en la recolección de datos primarios, tal como lo menciona Supo. (2014). Los resultados muestran que los valores para el parámetro DQO en las muestras de entrada (afluente) y salida (efluente) varían, al igual que la mayoría de los parámetros evaluados en diferentes periodos de tiempo. Se obtuvo un valor promedio de 4741,43 NMP/100 ml en el afluente y 678,00 NMP/100 ml en el efluente. Esto demuestra que el tratamiento realizado logra una remoción promedio del 85,51% para el parámetro de CTT, con un valor máximo de 874 NMP/100 ml y un mínimo de 421 NMP/100 ml en el efluente. Los valores obtenidos en el efluente son menores al LMP (10000 NMP/100 ml), cumpliendo así con la normativa del D.S.003-2010-MINAM. Se concluyó que el humedal artificial de flujo subsuperficial con especies acuáticas (*Phragmites australis*) demuestra un impacto favorable en la eliminación de contaminantes de agua residual en los colegios en el distrito de Amarilis, Huánuco. Esto se debe a la eliminación observada de los parámetros evaluados (físicoquímicos, microbiológicos), favoreciendo así en la mejora de la calidad del agua. Por lo tanto, este método es una alternativa viable para tratar el agua residual doméstica en colegios rurales.

## 2.2. BASES TEORICAS

### 2.2.1. AGUA RESIDUALES

Según Pérez (2009). El agua residual es definida como aquella que, son generados por el uso y día a día de las personas, son un riesgo y deben ser descartadas, ya que presentan una variedad de contaminantes y microorganismos. Este término abarca aguas de diferentes fuentes:

- a) **Aguas residuales domésticas:** El agua residual doméstica se originan de las excreciones humanas, actividades de higiene, cocina y limpieza. Estas aguas suelen estar cargadas con una abundancia de materia orgánica, microorganismos y residuos de productos como jabones, detergentes, lejía y grasas. Pérez (2009).
- b) **Aguas blancas:** Las aguas residuales pueden originarse tanto de fuentes atmosféricas, como la lluvia, nieve o hielo, así como del riego y la limpieza de áreas urbanas como calles, parques. Pérez (2009)
- c) **Aguas residuales industriales:** El agua residual industrial se genera a partir de los procesos llevados a cabo en plantas de fabricación y otros establecimientos industriales. Estas aguas contienen una diversidad de componentes como aceites, detergentes, antibióticos, ácidos, grasas y una variedad de contaminantes de origen mineral, químico, vegetal o animal. Pérez (2009).
- d) **Aguas residuales agrícolas:** Se generan en la agricultura. Por lo cual tienen químicos que se usan en la agricultura, también los que provienen del agua usada para riego de cultivos. Pérez (2009).

Arce (2018) menciona que el agua según su función y origen, traen mezcla de líquidos y desechos sólidos, las cuales son de residencias, industrias, oficinas y centros institucionales. Pérez (2009)

Contaminantes importantes para el tratamiento de agua residual:

- Sólidos suspendidos

- Materia Orgánica
- Microorganismos patógenos
- Compuestos tóxicos
- Metales Pesados

### **2.2.2. PARÁMETROS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

Los parámetros más notorios del agua residual doméstica según Arce (2018)

#### **Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para descomponer la MO biodegradable en condiciones aeróbicas se conoce como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Se mide a una temperatura de 20 °C y se expresa en miligramos por litro (mg/L). La DBO es ampliamente utilizada para evaluar la calidad del agua residual y superficial. Se emplea para diseñar tratamientos biológicos adecuados, evaluar la eficacia de los métodos de tratamiento y monitorear los efectos de la contaminación. En general, la mayoría de las aguas destinadas a los sistemas de abastecimiento público tienen una DBO inferior a 7 mg/L. Arce (2018)

#### **La Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La cantidad de oxígeno que se necesita para degradar de la MO. Este proceso implica el uso de dicromato de potasio, típicamente como agente oxidante, en un medio ácido ya a altas temperaturas. Arce (2018).

#### **Oxígeno disuelto**

El OD es esencial para la vida acuática, aunque tiene una baja solubilidad en el agua. Su solubilidad varía, por ejemplo, en agua dulce, desde aproximadamente 7 mg/L a 35 °C hasta 14.6 mg/L a 0 °C. La baja nivel de OD en el agua reduce su capacidad de autolimpieza, lo que precisa el tratamiento de aguas residuales antes de su descarga. Para los procesos aeróbicos, se necesita una concentración mínima de oxígeno disuelto de 0.5 mg/L, mientras que, en ambientes acuáticos naturales, las concentraciones necesarias desarrollar la vida acuática

son superiores a 4 mg/L. Arce (2018)

### **El pH**

El pH influye significativamente en los procesos de tratamiento biológico. Se ha observado que en aguas con un pH inferior a 6, hay una propensión al crecimiento de hongos en lugar de bacterias durante el tratamiento biológico. Un pH dentro del rango de 6,5 a 8,5 asegura la eficacia del tratamiento y la viabilidad de la vida acuática. Para los efluentes de tratamiento secundario, se establece un rango de pH de 6,0 a 9,0. En procesos biológicos específicos, como la nitrificación, se prefiere un pH de 7,2 a 9,0, mientras que, para la desnitrificación, se considera óptimo un pH de 6,5 a 7,5. Arce (2018)

### **Las grasas y los aceites**

Son componentes que afectan los procesos biológicos en el agua dificultando la transferencia de oxígeno debido a su baja solubilidad en estos compuestos. Estas sustancias también flotan en la superficie del agua debido a su tensión superficial. Arce (2018)

### **Sólidos suspendidos totales**

Son partículas que están en el agua y suelen ser de grandes, como materia fecal, papel, madera, comida y desechos similares. Estos sólidos pueden eliminarse mediante sedimentación o filtración, y en su mayoría son de naturaleza orgánica. Sin embargo, su acumulación puede provocar la formación de lodos y condiciones anaeróbicas en el agua. Arce (2018)

### **Los coliformes**

Presentes en los intestinos y excrementos de animales y personas, son indicadores de contaminación del agua. Su detección indica que el agua está contaminada y es portadora de enfermedades si se consume. Arce (2018).

## **2.2.3. MÉTODOS DE RECOJO DE AGUAS RESIDUALES**

Pérez Z. (2009) El desarrollo de sistemas de alcantarillado

comenzó en el Imperio Romano, pero no fue hasta la década de 1840-1850 que se experimentó un avance significativo en el proyecto y construcción de alcantarillado. Esto se debió a la creciente preocupación por la evacuación y eliminación de residuos humanos, lo que llevó a la construcción de alcantarillas para alejar el agua residual de los núcleos urbanos. Se eliminaron los pozos negros y se canalizaron los residuos hacia puntos específicos, aunque surgieron desafíos debido a la topografía de las ciudades García et al (2000).

En ciudades más desarrolladas, el alcantarillado lleva el agua residual a plantas de tratamiento. Los sistemas son separativos o unitarios, cada uno con sus ventajas e inconvenientes en términos de costos y manejo de caudales. La planificación de estas redes implica la determinación de caudales, cálculos hidráulicos, selección de materiales y diseño de estaciones de bombeo. Los avances recientes incluyen el uso de tecnología fotogramétrica y computacional, así como mejoras en materiales de construcción, para mejorar la eficiencia y gestión del sistema de alcantarillado. García et al (2000).

**Separativo:** Son dos canalizaciones diferentes, primero es sanitaria, para evacuar agua residual doméstica e industrial, y el otro que recoge el agua superficial que se descarga directo en los ríos.

**Unitario:** Recolectan en un solo canal los 2 tipos de agua residual. Este sistema presenta cambios significativos de flujo durante las lluvias.

#### **2.2.4. LA CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL GENERADA**

Pérez Z. (2009) La cantidad de agua residual generado por un pueblo tiene relación al uso de agua y su nivel de desarrollo en lo económico y social. A medida que la comunidad experimenta un mayor desarrollo, aumenta tanto el consumo como la diversidad de usos del agua en las actividades cotidianas. Este crecimiento en el desarrollo conlleva una mayor producción de aguas residuales. Los factores que afectan esta cantidad incluyen el nivel de consumo de agua potable y la evolución socioeconómica de la comunidad, ya que ambos influyen en la demanda y el uso del agua en diferentes actividades de cada pueblo.

Los factores que influyen:

- Pluviometría: utilización del sistema unitario.
- Consumo de agua potable.
- Ingestión de agua.
- Heces y orina.
- Pérdidas: se da por fuga en las tuberías, parte del agua usada no llega a las alcantarillas.
- Ganancias: eliminación y vertido distintos líquidos junto con el agua potable.

Pérez Z. (2009). En la realidad, una parte significativa, entre el 60% y el 80%, del agua potable que se utiliza termina convirtiéndose en agua residual. Si sumamos a esto el agua proveniente de la lluvia, las cantidades de agua residual pueden superar incluso el volumen de agua potable consumida. El volumen de agua residual cambia con el tiempo. En un sistema unitario, las precipitaciones tienen un impacto grande en estos vertidos. Además, tanto el caudal de agua residual doméstica e industrial experimenta cambios de diferentes tipos.

**Anuales y mensuales:** el consumo de agua varía tanto a lo largo del año como durante la semana debido a diversos factores. Durante el verano, el consumo aumenta debido a actividades como la ingesta, el aseo, actividades recreativas y municipales, así como el aumento de la afluencia turística, lo que genera fluctuaciones significativas en la producción de agua potable de acuerdo a Pérez Z. (2009)

**Semanales:** algunas industrias funcionan de manera estacional, consumiendo agua solo durante ciertas épocas del año. A nivel semanal, ciertos días experimentan un mayor consumo de agua debido a actividades como el aseo y la colada. Pérez Z. (2009)

**Diaria:** Diariamente, se observa un mayor volumen de descarga de aguas residuales, provenientes tanto del ámbito doméstico como industrial, durante las horas diurnas en comparación con las nocturnas, momento en el cual se registran los flujos mínimos García et al. (2000).

## 2.2.5. LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Pérez (2009). Menciona que las aguas servidas domésticas presentan una composición relativamente constante, lo que facilita su tratamiento, la diferencia del agua residual industrial, que contienen una gran variedad de componentes más difíciles de clasificar. Aunque el agua residual doméstica son únicamente desechos del hogar, su composición puede cambiar debido a factores como las costumbres alimentarias, el uso de agua y el uso de insumos de limpieza. Además, tanto la cantidad como la composición de estas aguas varían a lo largo del tiempo, dependiendo de la hora, el día y la época del año. Para analizar los componentes del agua residual, se pueden agrupar en tres características principales.

- Físicos: que comprenden: la temperatura, el color, turbidez, sólidos, olor
- Químicos: materia orgánica, DBO, DQO, COT.
- Biológicos: bacterias, virus, hongos, protozoos, hongos

Pérez (2009). Explica que para analizar las aguas residuales se emplean tanto enfoques cuantitativos como cualitativos. El método cuantitativo se utiliza para conocer la composición de estas aguas y abarcan técnicas como el análisis físico-químico, gravimétrico y volumétrico. En contraste, los métodos cualitativos se enfocan en evaluar las propiedades físicas y biológicas de las aguas residuales, proporcionando información adicional que complementa a los métodos cuantitativos. El agua residual suele contener diversas sustancias contaminantes, cada una con sus propias características.

### **características**

A continuación, se mencionarán estos contaminantes junto con una breve explicación de cada uno según Pérez Z. (2009).

- **Partículas en suspensión:** Responsables de la formación de sedimentos y condiciones anaeróbicas.
- **Agentes patógenos:** Organismos que pueden propagar

enfermedades a través del agua.

- **Nutrientes:** El fósforo, nitrógeno y carbono vertidos que van al agua, causando efectos no deseados en la vida acuática o la contaminación del suelo y aguas subterráneas. Pérez (2009)
- **Contaminantes prioritarios:** Compuestos orgánicos o inorgánicos con parámetros específicos de toxicidad, carcinogenicidad, mutagenicidad o teratogenicidad, potencialmente presentes en el agua residual.
- **Materia orgánica biodegradable:** Contenido por proteínas y grasas, se mide por: DBO y DQO. Pérez (2009)
- **Materia orgánica refractaria:** Resiste los métodos de tratamiento convencionales, como algunos pesticidas agrícolas. Pérez (2009)

### **Características físicas**

Incluyen cantidad y tipo de sólido (suspendido, sedimentable, disuelto), olor, temperatura, color, turbidez y densidad. Pérez (2009)

- **Sólidos totales:** Son una mezcla de partículas orgánicas, inorgánicas y iones que están disueltos en el agua. La fracción coloidal de estos sólidos no puede eliminarse por sedimentación. Además, los sólidos se pueden clasificar según su volatilidad, ya que, a temperaturas cercanas a 550 °C, la fracción orgánica se convierte en gas, dejando una fracción inorgánica en forma de ceniza. Pérez Z. (2009).
- **Los olores:** Pueden ser detectados a través del sentido del olfato o mediante instrumentos como los medidores de sulfuro de hidrógeno. Herramientas como el olfatómetro triangular dinámico también resultan útiles. Entre los componentes que pueden detectarse se encuentran aminoácidos, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles. Pérez (2009).
- **Temperatura:** En el agua residual, la temperatura es un indicador clave, generalmente más elevada que en el agua potable debido al calor específico del agua. Suele oscilar entre 10 °C y 20 °C, siendo 15 °C un valor típico. La temperatura es importante en el desarrollo de la vida acuática, en los procesos químicos. Los cambios de

temperatura pueden afectar a los organismos acuáticos, y temperaturas más altas pueden favorecer el crecimiento de hongos y plantas acuáticas. Entre 25 °C y 30 °C, la actividad bacteriana alcanza su nivel óptimo. Pérez Z. (2009).

- **Color:** Indica la edad del agua residual. Inicialmente gris, puede volverse más oscuro debido a la pérdida de oxígeno y la formación de sulfuros metálicos. Pérez (2009)
- **Turbidez:** Resulta de materia en suspensión como arcillas y limos. Indica la presencia de materia coloidal, que dispersa la luz. Pérez (2009)
- **Densidad:** Relacionado con la masa y volumen. Se relaciona con la formación de corrientes en fangos de sedimentación. Pérez (2009)

### **Características químicas**

Pérez Z. (2009) menciona que los pesticidas y productos químicos agrícolas, debido a su toxicidad, pueden contaminar las aguas superficiales a través de la escorrentía, provocando la muerte de organismos acuáticos y afectando su calidad. Es importante medir el contenido orgánico, y para ello se emplean métodos como el DBO y DQO para determinar las concentraciones. Además, se recurren a ensayos complementarios, como la cromatografía de gases y la espectroscopía de masas, para detectar la presencia de químicos.

- **La DBO:** Se relaciona con la cantidad de oxígeno que los microorganismos consumen durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Pérez (2009).
- **La DQO:** Usa un agente oxidante en medio ácido para conocer la cantidad de oxígeno de la materia orgánica oxidable. Generalmente, la DQO es mayor que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), debido a la oxidación química de compuestos, en contraste con la oxidación biológica. Pérez (2009).
- **El pH:** Es un parámetro crucial para evaluar la calidad del agua, tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Una concentración inadecuada de iones de hidrógeno en aguas

residuales puede afectar negativamente los procesos biológicos y alterar la composición química en el lugar de descarga. Pérez (2009).

- **Gases:** En aguas residuales son oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano, y otros como cloro, ozono y óxidos de azufre y nitrógeno en menor cantidad.
- **Oxígeno disuelto:** Crucial para microorganismos aerobios, su cantidad está determinada por factores como solubilidad, presión parcial en la atmósfera, temperatura y pureza del agua. Pérez (2009).

#### **Características Biológicas:**

- Los parámetros biológicos clave en agua residual son microorganismos, organismos patógenos y pruebas de toxicidad. Los microorganismos, que incluyen eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, principalmente pertenecen a las eubacterias. La categoría protista abarca algas, protozoos y hongos, mientras que los virus se clasifican según el huésped infectado. Pérez (2009).
- **Organismos Patógenos:** Estos organismos, presentes en el agua residual, derivan de desechos humanos. Dada su escasez y dificultad de identificación, se utiliza el organismo coliforme como indicador de su presencia, se aproxima que se evacuan diariamente entre 100,000 y 400,000 millones de estos organismos por seres humanos. Pérez (2009).

#### **2.2.6. LOS HUMEDALES**

Los humedales artificiales son sistemas construidos específicamente para tratar aguas residuales, en los cuales se crea un ambiente controlado con plantas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. Estas plantas, llamadas macrófitas, generan una serie de interacciones físicas, químicas y biológicas que facilitan la limpieza gradual del agua residual que ingresa al sistema. El proceso de tratamiento sucede lentamente a medida que el agua atraviesa el humedal artificial. Delgadillo et al. (2010).

Por otro lado, el humedal natural es un ecosistema esencial y hábitat crítico para muchas especies, que también actúan como sistemas naturales de filtración de agua. Las plantas hidrófitas presentes en estos entornos retienen y liberan agua a través de sus tejidos, lo que permite iniciar el proceso de limpieza del agua. En el pasado, los humedales eran drenados porque se veían como áreas inundadas sin valor, pero hoy se reconoce su importancia como ecosistemas vitales y se les otorga una mayor relevancia. Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2019). El humedal artificial se utiliza para tratar una gran variedad de agua residual:

- Domésticas y urbanas.
- Industriales.
- Drenaje de extracciones mineras.
- Escorrentía de la superficie.
- Lodos de plantas de tratamiento mediante su eliminación en la superficie de humedales de flujo subsuperficial, donde se secan y mineralizan. (García et al., 2004).

### **Clasificación de los humedales**

Se categorizan por especies acuáticas que utilizan en su operación: las plantas enraizadas fijas al sustrato o las plantas flotantes. Esta distinción se basa en el estilo de vida de las plantas presentes en el humedal artificial. En consecuencia, se pueden clasificar los humedales artificiales en función de esta característica. Según Delgadillo et al. (2010).

- **Tratamiento basado en macrófitas de hojas flotantes:**

Se refiere a plantas con flores que crecen en suelos inundados. Sus partes reproductivas pueden estar en la superficie del agua o en el aire. Dos ejemplos comunes son el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*), que son ampliamente empleados en este tipo de entorno.

- **Tratamiento basado en macrófitas sumergidas:**

Incluyen diversas plantas como helechos, musgos, carófitas y angiospermas. Se distribuyen en áreas donde la luz solar penetra, conocidas como zona fótica, aunque las angiospermas vasculares se limitan a vivir a profundidades de aproximadamente 10 metros. Sus estructuras reproductivas pueden estar en el aire, flotar en la superficie del agua o sumergirse.

- **Tratamiento basado en macrófitas enraizadas emergentes:**

En condiciones de áreas inundadas de agua de forma permanentemente o temporal, generalmente se encuentran plantas perennes que se reproducen mediante órganos reproductores aéreos (Cricyt, 2007). El humedal basado en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, según la circulación del agua:

#### **humedales de flujo superficial**

El agua circula en la superficial pasando por las raíces y en medio de las macrófitas. El agua pasa por los tallos de las plantas y se encuentra en contacto directo con la atmósfera. Estos humedales son una adaptación de las lagunas convencionales, pero con menor profundidad, alcanzando un máximo de 0.6 metros, y se diferencian por la presencia de plantas. CONAGUA (2019).

#### **humedales de flujo subsuperficial**

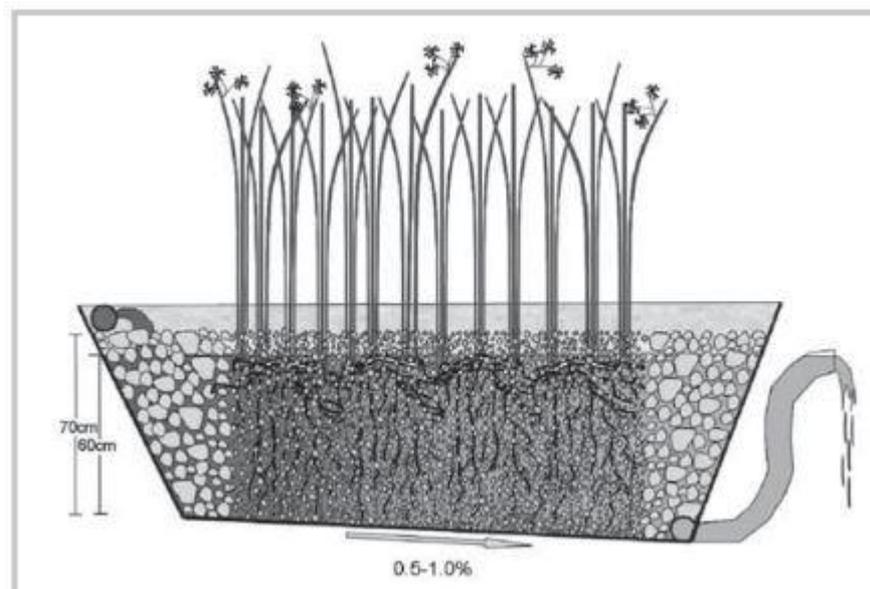
El agua pasa por la raíz y debajo del sustrato del humedal. Este sistema de flujo subsuperficial permite que el agua circule a través de un lecho de material granular poco profundo, el cual también sostiene el crecimiento de plantas. El agua fluye entre las raíces y los rizomas de estas plantas. Existen configuraciones horizontales y verticales, donde los sistemas de flujo vertical se cargan de manera periódica, lo que provoca ciclos de saturación y aireación en el lecho, mejorando la oxigenación. Los distintos ajustes permiten ajustar tanto la frecuencia de carga como las características del sustrato, obteniendo así buenos resultados en el tratamiento del agua. El agua, después de filtrarse, se recolecta en la base del humedal a través de un sistema de drenaje. CONAGUA (2019).

- **Humedales subsuperficiales de flujo horizontal.**

Fue desarrollado a partir de los estudios realizados por Seidel en (1967). y Kickuth en (1977). Está compuesto por una capa de materiales como tierra, arena y grava, donde se cultiva las plantas acuáticas. como el carrizo (*Phragmites australis*). Para evitar la filtración al suelo, se instala una membrana impermeable. El agua ingresa constantemente por la parte superior y se drena por el extremo opuesto. Mientras el agua fluye lateralmente a través del sustrato poroso, se somete a un tratamiento similar al flujo de pistón. La profundidad del lecho oscila entre 0,45 m y 1 m, con una inclinación entre 0,5 % y 1 %, según lo indicado por Delgadillo et al. (2010)

**Figura 1**

*Humedal subsuperficial de flujo horizontal*



*Nota.* humedal subsuperficial de flujo horizontal (vista corte sección) Delgadillo et al. (2010)

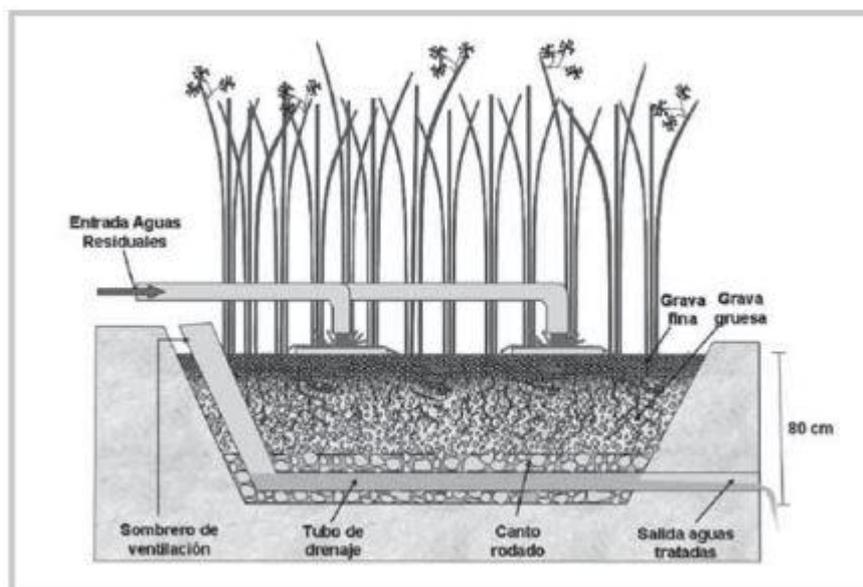
- **Humedales subsuperficiales de flujo vertical**

Los sistemas de flujo subsuperficial vertical se cargan de manera intermitente, lo que crea ciclos de saturación y desaturación en el lecho del humedal, promoviendo así una mejor oxigenación. Se pueden ajustar diversos factores como la frecuencia de carga y los materiales del lecho para optimizar el rendimiento del tratamiento. Estos humedales, también llamados filtros intermitentes, el agua residual entra desde la parte alta y

la conducen a través de un tubo que lo distribuyen hacia el fondo. Delgadillo et al. (2010).

## Figura 2

*Humedal subsuperficial de flujo vertical*



*Nota.* Humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección). Delgadillo et al (2010).

El agua ingresa de forma vertical por medio de un lecho compuesto por arenas y gravas, y luego se recolecta en un sistema de drenaje situado al fondo del humedal. El riego se realiza de manera continua para mantener condiciones aeróbicas favorables. Además de la vegetación emergente plantada en el medio, se instala un sistema de aeración mediante chimeneas, que son tuberías con aberturas hacia el exterior, para mejorar la aireación del sustrato poroso. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, este tipo de humedal presenta un sustrato estratificado, con capas superiores de grano fino y capas inferiores con granos más grandes, según Delgadillo et al. (2010).

### **Partes de los humedales de flujo subsuperficial**

Según Delgadillo et al. (2010) El humedal artificial de flujo subsuperficial está constituido básicamente por 4 elementos:

#### ✓ **Agua residual**

Son aquellas que se originan del suministro de agua de una

comunidad y luego se ven afectadas por diferentes usos en hogares, industrias y áreas comunitarias. Posteriormente, son canalizadas a través de un sistema de alcantarillado hacia un humedal específico Mara. (2000). Estas aguas, dependiendo de sus usos anteriores, contienen una mezcla de líquidos y desechos sólidos provenientes de hogares, oficinas, comercios, instituciones, así como de industrias, actividades agrícolas y fuentes subterráneas, superficiales o de precipitación. Delgadillo et al. (2010)

#### ✓ **Sustrato**

Los humedales están formados por suelos que incluyen arena, piedras pequeñas, rocas y restos orgánicos que se acumulan de manera natural por la actividad biológica. Lo más importante en estos ambientes es que el agua puede filtrarse sin dificultad, lo que significa que el suelo debe tener una buena permeabilidad. Por esta razón, se utilizan principalmente suelos con partículas gruesas, como piedras de un tamaño cercano a los 5 mm, y con poca presencia de materiales finos. Este sustrato, junto con los sedimentos y la materia orgánica, cumple funciones esenciales en los humedales construidos por diversas razones. Delgadillo et al. (2010).

- Sirve de soporte para los organismos que se desarrollan en el humedal.
- La capacidad del sustrato para permitir el paso del agua influye directamente en su flujo dentro del humedal.
- Finalmente, el sustrato actúa como depósito para una variedad de contaminantes, ayudando en su retención y procesamiento.

#### ✓ **Vegetación**

El papel de las plantas en los humedales se debe principalmente a sus raíces subterráneas. Las plantas aprovechan la energía del sol para transformar el carbono. Son capaces de distribuir oxígeno desde el aire a través de sus hojas hacia sus raíces. Esta transferencia de oxígeno genera zonas aeróbicas en el cual los microorganismos pueden emplear el oxígeno para llevar a cabo diferentes procesos de descomposición de

contaminantes. Arias, (2004).

Según Lara (1999). Las plantas flotantes son importantes en el tratamiento de aguas residuales y escorrentías de diversas formas:

- Ayudan a estabilizar el sustrato y reducen la formación de canales en el flujo.
- Facilitan la disminución de la velocidad del agua, permitiendo que los materiales suspendidos se asienten.
- Absorben carbono, nutrientes y elementos traza, incorporándolos en sus tejidos.
- Actúan como intermediarios en el intercambio de gas con la atmósfera sus sedimentos.
- Liberan oxígeno desde sus estructuras subterráneas, oxigenando otras áreas del sustrato.
- Sus tallos y sistemas radiculares proporcionan superficies para que se desarrollen microorganismos.

#### ✓ **Microorganismos**

Responsables del tratamiento biológico en los humedales. En la zona superior, donde hay un suministro de oxígeno a las raíces de las plantas, se encuentran microorganismos aeróbicos, en lecho granular sobrante están los anaeróbicos. Estos microorganismos descomponen la materia orgánica, eliminan nutrientes y la desinfecta. La biopelícula de los humedales alberga una cantidad de microorganismos, incluyendo bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, que consumen carbono y nutrientes, transformando diversas sustancias en formas inocuas e insolubles. Lara (1999).

### **2.2.7. MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES**

Se despliegan una variedad de métodos para eliminar contaminantes del agua residual, lo que implica una interacción compleja entre procesos biológicos, químicos y físicos. Esta complejidad radica en la diversidad de componentes y su influencia mutua. El cuadro siguiente detalla cada proceso presente en cada humedal construido. Delgadillo

et al. (2010).

**Tabla 1**

*Mecanismos de remoción de contaminantes en sistema de tratamiento con macrofitas*

<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Mecanismos de remoción</b>
SS	- Sedimentación/filtración
DBO	- Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica)
	- Sedimentación (Acumulación de material orgánico/lodo en la superficie del sedimento)
Nitrógeno Amoniacal	- Amonificación seguida por nitrificación y desnitrificación amoniacal
	- Captado por la planta
Patógenos	- Sedimentación/filtración
	- Declinación
	- Radiación ultravioleta
	- Excreción de antibióticos por las raíces de las macrofitas

*Nota.* mecanismos de remoción de contaminantes en sistema de tratamiento con macrofitas. Brix (1993) citado por Delgadillo et al (2010).

### **Remoción de sólidos suspendidos**

Los humedales actúan como un complemento al tratamiento previo al filtrar y sedimentar los sólidos suspendidos y sedimentables restantes, aunque la mayoría son eliminados en etapas anteriores. La raíz de la planta y el sustrato disminuyen el caudal del agua, lo que beneficia estos procesos. Es esencial un tratamiento previo adecuado para prevenir obstrucciones y el llenado rápido del humedal. Delgadillo et al. (2019).

### **Remoción de materia orgánica**

La eliminación de materia orgánica ocurre a través de procesos de biodegradación aeróbica o anaeróbica. También se produce una eliminación menor mediante procesos físicos sedimentándolo y filtrando, cuando la materia orgánica se junta a los sólidos suspendidos. Los microorganismos desempeñan un papel fundamental en la biodegradación, adhiriéndose a las plantas, especialmente a las raíces y la superficie de los sedimentos. Estos microorganismos requieren energía, carbono y otros nutrientes para su metabolismo y reproducción, pudiendo clasificarse como heterótrofos, que utilizan material orgánico

como fuente de carbono, o autótrofos, que emplean dióxido de carbono como fuente de carbono. Gray en Delgadillo et al. (2010).

### **Remoción de nitrógeno**

La mayoría del nitrógeno está como amonio compuesto o inestable. El principal proceso de depuración de nitrógeno en un humedal es por medio de la nitrificación y la desnitrificación, las cuales tienen lugar en distintas áreas del sustrato. El proceso se divide en etapas, comenzando con la amonificación, seguida de la nitrificación y la desnitrificación. Delgadillo et al. (2010).

### **Remoción de fósforo**

El fósforo se encuentra en el sistema de alcantarillado en 3 formas diferentes: ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El fosfato orgánico, junto con las polifosfatos, constituye una proporción menor del contenido de fósforo en la alcantarilla y se descomponen luego como ortofosfato es más asimilable. Aproximadamente el 25% del fósforo total presente en la alcantarilla está en forma de ortofosfatos, como  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , y  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , que son más accesibles en el metabolismo biológico inmediato. Para fines de tratamiento, la concentración de fosfato orgánico es más relevante que la concentración total de fósforo. Gray, (1989).

### **Remoción de bacterias**

Los microorganismos de mayor relevancia en términos de salud de la población son bacterias patógenas y los virus, los cuales tienen la capacidad de mantenerse viables por un breve periodo en aguas naturales, especialmente en aquellas con temperaturas más frías y contaminación orgánica.

La eliminación de estos microorganismos se lleva a cabo mediante la mezcla de varios. Los aspectos físicos abarcan procesos como la filtración, sedimentación, agregación y la exposición a la radiación ultravioleta. Los mecanismos biológicos comprenden la depredación, la acción de bacteriófagos y la muerte celular. Respecto a los factores químicos, estos incluyen la oxidación, la adsorción y la exposición a

toxinas generados por otros microorganismos y liberadas por la raíz de la macrófita.

Vymazal et al. (citados en Kolb 1998) por Delgadillo et al (1998). Informaron sobre la eliminación de bacterias (coliformes fecales) y enterobacterias en diversos humedales en la República Checa, obteniendo eficiencias de eliminación que oscilaron entre el 98% y el 99% para los indicadores bacterianos. En caso de eficiencia más baja, se atribuyó a tiempos de retención más corto. Delgadillo et al. (2010).

### **2.2.8. FUNCIONES DE LAS MACRÓFITAS EN LA REMOCIÓN**

De acuerdo con Arias y Brix (2003), Las plantas emergentes desempeñan un papel esencial en el tratamiento de aguas residuales y escorrentías de diferentes formas:

- Estabiliza el sustrato y previene la formación de canales en el flujo.
- Reducen la velocidad del agua, permitiendo que los materiales suspendidos se depositen.
- Absorben carbono, nutrientes y elementos traza, integrándolos en sus tejidos. Intercambio de gases más fácil entre la atmósfera y los sedimentos.
- Liberan oxígeno en las estructuras subterráneas, oxigenando otras áreas del sustrato.
- Sus tallos y raíces proporcionan superficies para la adhesión de microorganismos.

Las macrófitas se adaptan a entornos con suelos inundados de agua gracias a su sistema interno de amplia ventilación, facilitando la absorción de aire desde el aire hacia su raíz. Son cruciales en la construcción del humedal al estabilizar la superficie y prevenir bloqueos, además de ofrecer condiciones óptimas para la filtración física y el desarrollo microbiano. Aunque las estimaciones de transferencia de oxígeno a la rizosfera varían, el proceso es importante. El consumo de nutrientes es significativo solo durante la cosecha del tejido vegetal. En climas templados, proporcionan aislamiento térmico y protección contra

el frío invernal. Asimismo, pueden actuar como refugio para la vida silvestre y mejorar la estética del sistema de tratamiento de agua residual, dependiendo de la planta seleccionada. Delgadillo et al (2010).

Según Fernández et al. (2004) Los humedales artificiales presentan aspectos relevantes en su funcionamiento:

#### **La eliminación de DBO:**

La acumulación de materia orgánica en cada espacio vacío del sustrato y la planta, así es como se eliminan. La materia orgánica disuelta es depurada por la actividad de microorganismos de la superficie del medio y en las raíces de las plantas que penetran el humedal. Aunque las raíces de las plantas pueden aportar pequeñas cantidades de oxígeno disuelto en su superficie, se espera que las condiciones en el resto del lecho sean mayormente anaeróbicas. Fernández et al. (2004)

Las macrófitas son importantes para tratar el agua residual, principalmente facilitando la remoción de contaminantes y promoviendo procesos biogeoquímicos dentro del humedal.

#### **Ventajas y desventajas de los humedales artificiales**

Se presenta un cuadro para comparar al humedal de flujo superficial frente a los de flujo subsuperficial. En cuanto a gastos, los humedales de flujo superficial son económico a diferencia que los de flujo subsuperficial, ya que no requieren gastos significativos en impermeabilización ni en la provisión y colocación de sustrato de grava. Delgadillo et al. (2019)

Es importante señalar que el humedal de flujo horizontal tiene más riesgo de obstrucción debido al taponamiento del sustrato, lo que afecta la circulación del agua. Por lo tanto, es necesario que el agua que se va a tratar tenga niveles más bajos de material en suspensión para evitar este problema. En lo que respecta a su funcionamiento, los dos tipos de humedales necesitan un flujo de baja de baja presión, pero continuo. Sin embargo, es crucial entender que esto no debe interpretarse como una demanda mínima, ya que ambos sistemas necesitan ciertos requisitos para su correcto funcionamiento. Delgadillo et al (2019).

**Tabla 2***Comparación entre diferentes sistemas de flujo de humedales*

<b>Parámetro evaluado</b>	<b>Flujo superficial</b>	<b>Flujo subsuperficial</b>
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej. Lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera).	Para tratar flujos primarios (aguas pre tratadas ej. Tanques IMHOFF, pozos sépticos).
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de carga orgánica
Olor	Puede ser controlado	No existe
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante
Área	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
Costo	Menor costo en relación al subsuperficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar el precio hasta un 30%
Valor ecosistema	Mayor valor como ecosistemas para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna
Usos generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes.
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

*Nota.* comparación entre diferentes sistemas de flujo de humedales Delgadillo et al (2010).

### **2.2.9. PLANTAS MACROFITAS**

Las plantas que crecen naturalmente en los humedales se conocen comúnmente como macrófitas, y su presencia o ausencia es un aspecto fundamental en la definición de estos ecosistemas. Las macrófitas desempeñan un papel vital al utilizar la energía del sol para transformar el carbono inorgánico atmosférico en materia orgánica, que luego sirve como fuente de energía para otros organismos. El movimiento de la planta por el viento mantiene la superficie abierta, mientras que el

crecimiento de sus raíces ayuda a prevenir la obstrucción. También contribuyen a reducir la exposición solar, lo que a su vez previene la proliferación de algas. El deterioro natural de las raíces y rizomas conduce a la formación de canales tubulares conocidos como macroporos. Según varios autores, esta transformación aumenta y estabiliza la capacidad del suelo para transportar agua, lo que se conoce como conductividad hidráulica. CONAGUA (2019).

**Tabla 3**

*Importancia de los componentes de las macrófitas*

<b>Propiedad</b>	<b>Importancia para el proceso</b>
Tejido aéreo de la planta	Reducción luz, Disminuye el desarrollo de algas. Influencia en el microclima, proporciona aislamiento durante el invierno. Minimiza el efecto de la velocidad del viento. Disminuye el riesgo de resuspensión. Almacenamiento de nutrientes.
Tejido de la planta en contacto con el agua	Impacto de la filtración: Disminuye la velocidad del flujo, lo que a su vez aumenta la tasa de sedimentación. Amplía la superficie disponible para el desarrollo de biopelículas. La liberación de oxígeno fotosintético facilita la descomposición aeróbica de contaminantes. Absorción de nutrientes.
Raíces y rizomas	Evita la saturación del medio, especialmente en humedal de flujo vertical. Libera oxígeno, facilitando la depuración en condiciones aerobias. Estabiliza la el suelo de los humedales, reduciendo la erosión.

*Nota.* Importancia de los componentes de las macrófitas en los humedales artificiales. CONAGUA (2019).

### **Las plantas macrofitas eliminan contaminantes de varias maneras**

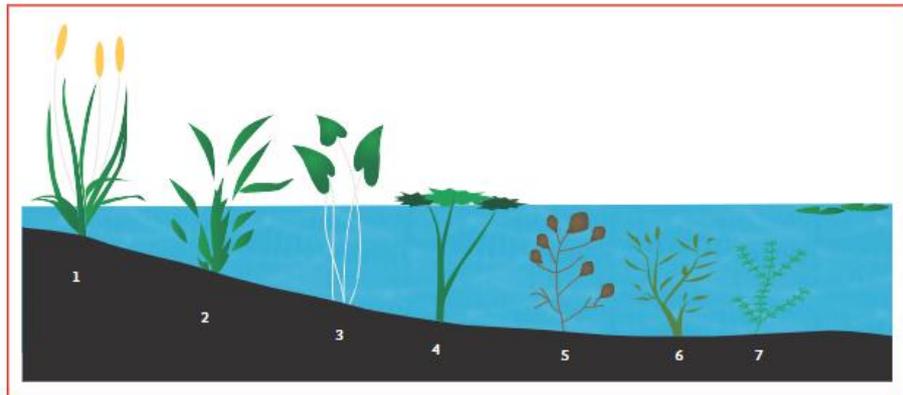
Según el CONAGUA (2019) comisión nacional del agua se sabe:

- Absorben los contaminantes directamente en sus tejidos.
- Ayudan a mantener la estabilidad de la conductividad hidráulica del suelo, lo que permite la retención de fósforo y metales pesados.
- Facilitan que el entorno sea adecuado para el desarrollo microbiano al transportar oxígeno hacia la rizosfera, ayudando así la degradación aeróbica de la materia orgánica y el desarrollo de bacterias nitrificantes Brix, (1994).

- El humedal de flujo superficial, las partes sumergidas de la planta y las partes muertas se descomponen y son transformados en residuos vegetales, proporcionando un abono para el desarrollo de la biopelícula microbiana, el cual desempeña un papel crucial en el proceso de tratamiento. Lara (1999).

**Figura 3**

*Clasificación de macrofitas*



*Nota.* clasificación de macrofitas: emergentes (1-4). Sumergidas (5-7) flotantes (8) Odum (1972) por CONAGUA (2019).

Taxonomía de las plantas *Zantedeschia aethiopica* (cartucho)\_Y  
*Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel)

**Tabla 4**

*Taxonomía del cartucho*

Cartucho taxonomía	
<b>Taxón</b>	<b>Nombre Científico</b>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alales
Familia	Araceae
Género	Zantedeschia
Especie	<i>Zantedeschia aethiopica</i>
Nombre común	cartucho

**Tabla 5***Taxonomía de zapatitos de ángel*

<b>Taxón</b>	<b>Nombre Científico</b>
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisión	<i>asteridae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida (dicotiledóneas)</i>
Orden	<i>Scrophulariales</i>
Familia	<i>Calceolariaceae</i>
Género	<i>Calceolaria</i>
Especie	<i>Calceolaria tripartita</i>
Nombre común	zapatitos de ángel

## 2.2.10. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (LMP)

DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM

**Tabla 6***Límites máximos permisibles D.S N° 003 – 2010 - MINAM*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Suspendidos Totales	ml/L	150
Temperatura	°C	<35

*Nota.* límites máximos permisibles para efluentes de PTAR. MINAM (2010)

## 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

**Efluentes:** Agua residual que han son sometidas a procesos de tratamiento. Norma OS.090, (2006)

**Humedales:** Los humedales son zonas en las que el agua es crucial para definir el entorno, así como la flora y fauna que lo habita. Se localizan en áreas donde la capa freática está cerca del suelo, o donde hay agua poco inundada sobre el área. Lecca et al. (2014).

**DBO (Demanda Biológica de Oxígeno):** Es el parámetro que refleja la cantidad de MO biodegradable del agua. La demanda bioquímica de oxígeno

(DBO) se refiere a la cantidad de oxígeno requerida para que los microorganismos descompongan la materia orgánica en un período y temperatura (generalmente 5 días a 20 °C). Norma OS.090 (2006).

**DQO (Demanda Química de Oxígeno):** Indica la cantidad total de materia orgánica que puede ser oxidada químicamente. Para medir la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica en las aguas residuales, se utilizan sales inorgánicas como el permanganato o el dicromato de potasio como agentes oxidantes. Norma OS.090 (2006).

**Cadena de custodia:** Un registro minucioso que controla y rastrea los pasos de recolección, almacenamiento, codificación y traslado de muestras, esto es crucial para asegurar la integridad y la trazabilidad del muestreo hasta la entrega de los resultados. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. MVCS (2013).

**Limite máximos permisibles:** La determinación de la cantidad y el nivel de diferentes parámetros o contaminantes que definen una generación de contaminantes, cuyo exceso podría resultar perjudicial para la salud, el bienestar de las personas y el medio ambiente, está establecida por ley. El cumplimiento de estos límites es supervisado por el MINAM. MVCS (2013).

**Olfatometro:** Un olfatómetro es un dispositivo utilizado para medir tanto la intensidad como las características de los olores percibidos por humanos u otros seres vivos. Su propósito es evaluar la presencia de compuestos olorosos en el aire y determinar su impacto en el ambiente, la salud y el bienestar humano. UPB (2017).

**Macrofitas:** Las macrófitas son especies que se desarrollan en humedales, cuerpos de agua dulce o salada, y otros ambientes húmedos. Estas plantas están adaptadas para sobrevivir en condiciones acuáticas, con características como raíces extensas o flotantes, tallos flexibles y hojas resistentes al agua. Cumplen una importante función en los medios acuáticos al proporcionar refugio y genera alimento para varios organismos, también de ayuda a mejorar la calidad del agua al descomponer los nutrientes y filtrar contaminantes. CONAGUA (2019).

**Quimisorción:** La quimisorción es un proceso en el que átomos o

moléculas se adhieren a una superficie sólida a través de enlaces químicos fuertes, formando enlaces covalentes o iónicos con los átomos de dicha superficie. Este fenómeno es de gran importancia en áreas como la catálisis, la purificación de gases y la eliminación de contaminantes del medio ambiente. CONAGUA (2019).

**Macroporos:** Se trata de los poros más grandes que se encuentran en el suelo o sustrato, los cuales permiten la circulación de aire y agua en su interior. CONAGUA (2019).

**Complejación:** En los humedales, este fenómeno se refiere a la interacción de ciertos elementos o sustancias presentes en el agua, como los metales pesados o los nutrientes, que se combinan o forman complejos con otros compuestos del entorno acuático. Estos complejos pueden afectar la disponibilidad y el transporte de dichos elementos en el ecosistema del humedal, lo que a su vez puede influir en su salud y funcionamiento. CONAGUA (2019).

## 2.4. HIPÓTESIS

### 2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

**Ha:** Los humedales con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *calceolaria tripartita* es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024

**Ho:** Los humedales con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *calceolaria tripartita* no es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024

### 2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

**Ha1:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Zantedeschia aethiopica* resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Ho:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Zantedeschia aethiopica* no resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Ha2:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Calceolaria tripartita* resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Ho:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Calceolaria tripartita* no resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Ha3:** Los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca tiene variación significativa antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

**Ho:** Los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca no tiene variación significativa antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Humedal artificial con macrofitas

### **2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Tratamiento de aguas residuales domésticas

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

### Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	Valor final	INSTRUMENTO
<b>Humedal artificial con macrofitas</b>	El humedal artificial es una forma de tratar el agua residual mediante la Fito depuración. Este método implica el cultivo de plantas acuáticas enraizadas en un medio de grava impermeabilizado. Las plantas desencadenan interacciones físicas, químicas y biológicas que purifican gradualmente el agua residual entrante. CONAGUA (2019).	Los sistemas de tratamiento eliminan contaminantes orgánicos, amonio, nitratos y fósforo del agua. Este proceso implica una serie de pasos complejos, como la oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química Arce (2018)	Plantas macrofitas	-Macrofitas <i>Zantedeschia aethiopica</i> -Macrofitas <i>calceolaria tripartita</i>	Unidades	Fichas de campo
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	mg/L	INSTRUMENTO
<b>Tratamiento de aguas residuales domésticas</b>	Tratar el agua residual comprende cuatro etapas principales: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. Estas etapas son fundamentales para mejorar la calidad del agua residual antes de su descarga o reutilización. SINIA (2017)	El tratamiento del agua residual implica una serie de procesos secuenciales diseñados para disminuir gradualmente la presencia de sustancias y elementos contaminantes en el agua que llega a la planta de tratamiento. Estas acciones se realizan en un orden específico y en diferentes etapas para garantizar una depuración efectiva del agua residual, contribuyendo así al cuidado del ambiente y la salud de la población. SINIA (2017).	Parámetros fisicoquímicos  Parámetros microbiológicos	STS.SST PH Temperatura COLIFORMES DBO DQO Coliformes totales Aceites y grasas	Unidad de pH °C mg/L MG/L Mg/l MG/L NMP/10 0 mL	Ficha de análisis de laboratorio, cuaderno de campo, cadena de custodia, Multiparámetro

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Según el nivel de compromiso con la investigación, el estudio se clasifica como intervencionista. En cuanto al alcance de la planificación y el tiempo asignado a la recogida de datos, el estudio se caracteriza como prospectivo. En cuanto a la frecuencia de medición de las variables, el estudio se clasifica como longitudinal. Por último, de acuerdo al número de variables empleadas, el estudio se define como analítico (Guija y Guija, 2019)

##### **3.1.1. ENFOQUE**

El presente estudio pertenece al enfoque cuantitativo, que, según la definición de Hernández et al. (2018), se da con la recopilación metódica y el examen de todos los datos para empezar con las preguntas de investigación y analizar las hipótesis preexistentes. La metodología se centra en la medición cuantitativa, la enumeración precisa y, con frecuencia, utiliza técnicas estadísticas para discernir con precisión patrones recurrentes de comportamiento dentro de un grupo determinado.

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La investigación presente se sitúa dentro del nivel aplicativo. Puede clasificarse como analítico porque se centra en la recopilación y el análisis de datos relativos a diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno estudiado. Del mismo modo, es de carácter correlacional, ya que su objetivo principal es determinar la relación entre las variables investigadas. Cabe señalar que los estudios correlacionales poseen cierto grado de significación explicativa, ya que facilitan la comprensión de las asociaciones entre variables y su comportamiento mutuo. Hernández et al, (2018).

### 3.1.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para el estudio presente será el Experimental, ya que incluye la manipulación variable. En su lugar, los fenómenos de interés serán observados, medidos y analizados; posteriormente estudiados, siguiendo el planteamiento expuesto por Hernández et al. (2018). Se muestra el siguiente esquema:

El diseño estará compuesto por dos humedales **H1** y **H2**

**H2:** Humedal con macrofita (*Zantedeschia aethiopica*)

T.....O1

UE..... X.....02

**H1:** Humedal con macrofita (*calceolaria tripartita*)

GC.....O1

UE..... X.....02

T: TESTIGO

UE: UNIDAD EXPERIMENTAL

O<sub>1</sub> O<sub>2</sub>: ANÁLISIS

En esta notación, O representa la observación o medición, y X denota la intervención o tratamiento. El subíndice numérico indica la secuencia de las mediciones o intervenciones. O1 se refiere a la primera medición u observación, mientras que X02 indica la segunda intervención en el grupo experimental.

#### **Diseño de humedal artificial de flujo subsuperficial**

Según Delgadillo, et al. (2010) Para diseñar el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal se consideró el planteamiento de la siguiente ecuación la cual se deriva del modelo aplicado para flujo pistón; que relaciona la capacidad de remoción con el tiempo de esta retenido el agua. WEF (1992) en Delgadillo, et al (2010).

Datos necesarios para su diseño:

- Determinación de la profundidad del humedal
- Pendiente (1%)
- Determinación de área superficial

- Determinación de largo ancho de humedal
- Determinación de tiempo de retención

### Determinación del caudal del afluente

Se utilizó el método de medición volumétrico por ser un caudal menor a los 5 L/s. de acuerdo a MVCS (2013).

**Tabla 8**

*Cálculo de caudal promedio*

	07:00	12:00	06:00				
Hora	a. m.	p. m.	p. m.				
N°	M1	M2	M3	tiempo (promedio)	vol (L)	caudal (L/s)	caudal (m3/día)
1	200	220	200	207	4	0.02	1.7
2	190	330	180	233	4	0.02	1.5
3	180	190	190	187	4	0.02	1.9
4	197	190	300	229	4	0.02	1.5
5	201	600	190	330	4	0.01	1.0
6	190	190	180	187	4	0.02	1.9
7	196	340	400	312	4	0.01	1.1
<b>Q PROM</b>							<b>1.5</b>
							<b>1.5 m3/día</b>

Con 3 mediciones por día mediciones en 7 días se obtiene el caudal promedio 1.5 m3/día

### Determinación de la profundidad del humedal

Esto se obtuvo de la medición de las raíces de cada especie a utilizar, el cual determinará la profundidad del humedal

-*Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua)

Altura de la raíz 50 cm

-*Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel)

Altura de la raíz 40 cm

### Determinación de área superficial

Este punto se determinó mediante la fórmula planteada por el autor Delgadillo, et al (2010). Para aplicar la fórmula de área superficial del humedal se halla el  $K_T$  con la siguiente fórmula

$$k_T = 1,104 * 1,06^{T_2-20}$$

$$k_T = 1,104 * 1,06^{21-20}$$

$$k_T = 1,17$$

Donde:

$k_T$ : constante de reacción de primer orden

$T_2$ : temperatura del agua (°C)

**Aplicando la fórmula:**

✓ *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua)

Altura de la raíz 0.50 m

$$AS = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{k_t * h * n}$$

$$AS = \frac{1.5 * \ln\left(\frac{126}{30}\right)}{1.16 * 0.5 * 0.36}$$

$$AS = 10.2 m^2$$

A nivel experimental se trabajará con un área de 1 m<sup>2</sup>

✓ *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel)

Altura de la raíz 0.40 m

$$AS = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_0}{C}\right)}{k_t * h * n}$$

$$AS = \frac{1.5 * \ln\left(\frac{126}{30}\right)}{1.16 * 0.4 * 0.36}$$

$$AS = 8.1 m^2$$

A nivel experimental se trabajará con un área de humedal de 1.5 m<sup>2</sup>

Donde:

Q: caudal afluente principal a tratar (m<sup>3</sup>/día)

C: concentración de DBO del efluente de humedal (mg/L)

C<sub>0</sub>: concentración de DBO del afluente (mg/L)

$K_T$ : constante de reacción de primer orden dependiendo de la temperatura ( $d^{-1}$ )

H: profundidad del humedal (m)

n: porosidad del sustrato en humedal en fracción

### **Determinación de la relación largo ancho de 2 a 1 de humedal H1 y H2**

De acuerdo al autor Delgadillo et al. (2010) una relación óptima para el largo y ancho de humedal recomienda que estos tengan una relación de 2 a 1

- **Para el humedal H1 *Calceolaria Tripartita*** (zapatitos de ángel)  
Área de 1.5 m<sup>2</sup> aplicando la fórmula de relación largo ancho

$$2l \times l = 1.5$$

$$2l^2 = 1.5$$

$$l = \sqrt{\frac{1.5}{2}}$$

$$l = 0.866 \text{ m} \quad 2l = 1.73 \text{ m}$$

- **Para el humedal H2 *Zantedeschia aethiopica*** (cartucho de agua)

Área de 1 m<sup>2</sup>

$$2l \times l = 1$$

$$l^2 = \sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$l = 0.71 \text{ m} \quad 2l = 1.42 \text{ m}$$

Donde:

L: ancho

2L: largo

### **Determinación de tiempo de retención**

El tiempo de retención de acuerdo a la carga de contaminante DBO será de 3 días o 5 días y considerar el tratamiento más óptimo.

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. POBLACIÓN

La población comprende el agua residual doméstica de la zona rural del pueblo de Huarichaca.

Ubicación del punto del afluyente de agua residual Huarichaca – Huanca Rumi

<b>Coordenadas UTM, WGS-84 -ZONA 18 L</b>		
<b>este</b>	<b>norte</b>	<b>altitud</b>
386786.00 m E	8901211.00 m s	2460 m.s.n.m

Ubicación del punto de monitoreo del efluente del humedal H1 y H2

<b>coordenadas UTM, WGS-84 -ZONA 18 L</b>		
<b>este</b>	<b>norte</b>	<b>altitud</b>
385549.00 m E	8899625.00 m S	2521 m.s.n.m

### 3.2.2. MUESTRA

La selección de la muestra se realizará de forma intencional según el juicio y las necesidades del investigador, siguiendo las recomendaciones de Otzen et al. (2017). Ellos indican que el método de muestra intencional facilita la selección de casos de una población limitada, especialmente cuando esta presenta una variabilidad significativa entre sus elementos. Por consiguiente, se considerará 1 muestras de afluyente y 3 muestras de efluente para un análisis estadístico más preciso.

## 3.3. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

El método de recopilación de datos engloba las diversas técnicas empleadas para recabar información de la muestra seleccionada a efectos del estudio. Las técnicas de investigación empleada en este estudio abarcan numerosas estrategias, como la toma de muestras, utilización de ficha de análisis, lista de verificación, libreta de campo, formatos.

## **Toma de muestra**

El muestreo de agua consiste en el examen de muestras representativas el cual se obtendrá siguiendo el Protocolo de monitoreo, se tomará las muestras, se realizará el análisis de parámetros in-situ y en laboratorio. El procedimiento de muestreo manual se caracteriza por su carácter laborioso, ya que implica la utilización de botellas de vidrio para la recogida de muestras. Estas muestras se transportan posteriormente a los laboratorios para su análisis, donde se evalúan en función de factores específicos (DIGESA, 2011).

El Protocolo para monitorear la calidad de efluentes de plantas de tratamiento de agua residual doméstica (PTAR), emitido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento MVCS, busca normalizar el proceso de supervisión de la calidad del agua tratada (efluente) en las PTAR. También cubre la evaluación del agua residual sin tratar (afluente) que entra en las PTAR. SINIA (2019).

**Parámetros a Monitorear:** de acuerdo protocolo de monitoreo propuesto por MVCS (2013) los parámetros importantes a evaluar son los siguientes:

### **Físico-Químicos**

- pH
- DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno)
- DQO (Demanda Química de Oxígeno)
- Temperatura
- Aceites y grasas

### **Biológicos**

- Coliformes termotolerantes

**Tabla 9****Métodos de ensayo de análisis de laboratorio**

<b>Métodos de ensayo de análisis de laboratorio</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método</b>
pH	H+	Electrométrico
Temperatura	°C	Termómetro digital
Sólidos Suspendidos Totales	ml/L	SM 2540D
Aceites y Grasa	mg/L	EPA 1664 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	Método respirométrico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	Método colorimétrico de reflujo cerrado
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	Técnica de tubos Múltiples - número más probable

**Frecuencia de Muestreo**

Se medirá 1 muestras del afluente y 3 del efluente para un análisis de datos más precisos

- ✓ Afluente: 1 muestras intervalo de una semana
- ✓ Efluente: 3 muestras considerando el tiempo de retención hidráulica del humedal; muestra en días.

**Procedimiento de muestreo:**

Recolección de muestras en recipientes estériles y tiempo de vida

**Tabla 10**

Descripción de realización de muestreo por parámetro

<b>Parámetro</b>	<b>Tipo de Envase</b>	<b>Vol. Mínimo</b>	<b>Preservación</b>	<b>N° de Envases</b>	<b>Tiempo de Vida</b>
DBO	Plástico	1L	se llenó el frasco sin presencia de burbujas.	1	48 horas
BQO	Plástico	0.5L	Se añade H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH < 2.	1	28 días
Sólidos Totales Suspendidos	Plástico	0.5L	se llenó hasta el cuello de la botella.	1	7 días
Aceites y Grasas	Vidrio ámbar	1L	Se añade H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta pH < 2.	1	28 días

pH	Plástico	¼L	se llenó hasta el cuello de la botella.	1	Instante
Temperatura Coliformes Termotolerantes	Vidrio	1L	se llenó hasta el cuello de la botella.	1	Instante
	Plástico estéril	¼L	se llenó el frasco a un nivel de ¾.	1	24 horas

*Nota.* Requisitos para toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. MVCS (2019).

Medición in situ de parámetros físico-químicos. Transporte de muestras al laboratorio para análisis microbiológico y químico. Registro de resultados y análisis comparativo con estándares normativos.

**Tabla 11**

*Materiales y equipos para el muestreo de efluente*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivo</b>
Botas	Cámara fotográfica Guantes desechables	Ácido Sulfúrico 1:1
GPS	Respiradores	
Libreta de campo	Cooler	
Guardapolvo	Envases de plástico de 1L	
2 envases de plástico de 1/2L	Envase de vidrio ámbar 1L Envase de plástico esterilizado de 1/4L	
Envase de plástico de 1/4L	8 ice pack	
Multiparámetro	cronometro	

### **Fichas y formatos de campo**

- Formato de Ubicación del Punto de Monitoreo
- Formato de Registro de datos de campo
- Etiqueta para muestras de agua residual
- Formato de Cadena de Custodia
- Medición de caudales

**Ficha de análisis:** se empleará como recurso metodológico para ordenar sistemáticamente y consolidar analíticamente una colección de datos obtenidos mediante pruebas de laboratorio.

### **3.4. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

Se utilizó el software Excel y el software SPSS versión 25. Para el análisis inferencial se trabajó con la prueba de T de Student para analizar pruebas paramétricas.

### **3.5. PARA EL ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS DATOS**

Para la presente tesis, la técnica para el procesamiento de datos y análisis de la información será la estadística, además de la inferencial, siendo procesados a través de los programas estadísticos EXCEL Y SPSS.

- **EXCEL:** El uso de esta herramienta resulta indispensable para analizar información importante de grandes conjuntos de datos.
- **SPSS:** La aplicación informática facilita la exploración expeditiva de los datos, permite formular hipótesis, dilucida las relaciones entre variables, identifica patrones y facilita la medición de variables con el fin de hacer predicciones.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

##### 4.1.1. RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DE LOS HUMEDALES H1

Resultados del Humedal H1 Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel)

➤ Parámetros fisicoquímicos

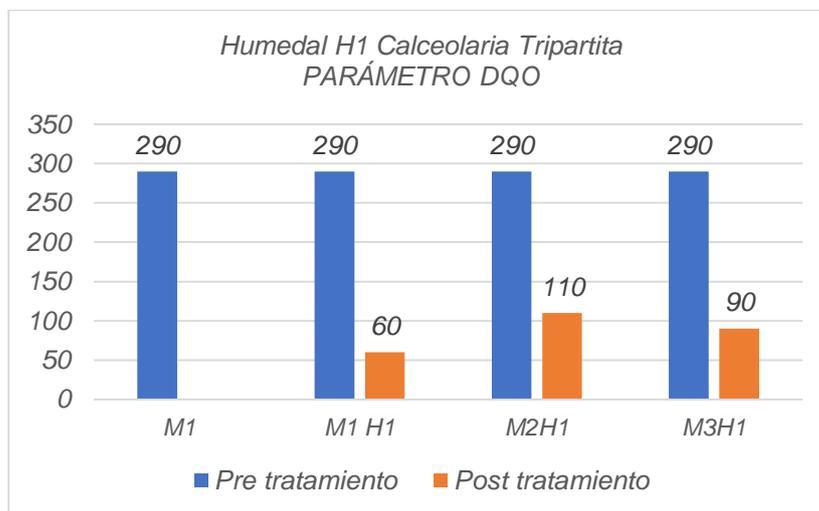
Tabla 12

*Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro DQO*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LPM
M1	290		
M1 H1		60	200
M2H1		110	
M3H1		90	

Figura 4

*Comparación de parámetro - DQO*



La tabla 12 y la Figura 4 de los resultados indican una disminución de DQO después del tratamiento con la planta *Calceolaria Tripartita*. Aquí un desglose por muestra: Muestra M1: La DQO se redujo de 290 mg/L a 60 mg/L después del tratamiento, mostrando una mejora significativa. Muestras M2H1 y M3H1: Si bien hubo reducción de la DQO (a 110 mg/L y 90 mg/L respectivamente), la disminución fue menor comparada con la muestra M1 esto se debe a que la M1H1 el tiempo de retención fue mayor. En general, la reducción de la DQO indica que el tratamiento con *Calceolaria Tripartita* ayudó a eliminar o degradar materia orgánica contaminante presente en el agua

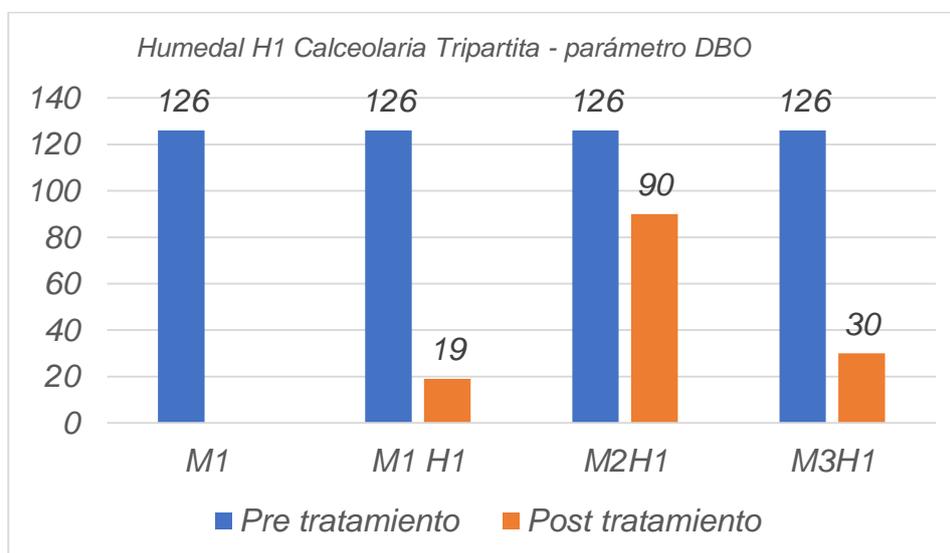
**Tabla 13**

*Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro DBO*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	126		
M1 H1		19	100
M2H1		90	
M3H1		30	

**Figura 5**

*Comparación de parámetros - DBO*



La tabla 13 y la Figura 5 muestran los resultados que indican una disminución de DBO, después del tratamiento con la planta *Calceolaria Tripartita*. Aquí observamos lo siguiente por muestra: Muestra M1: La DBO se redujo de 126 mg/L a 19 mg/L después del tratamiento, lo que representa una mejora considerable. Muestras M2H1 y M3H1: Se

aprecia una reducción de la DBO (a 90 mg/L y 30 mg/L respectivamente), pero en menor medida comparada con la muestra M1. En general, la disminución de la DBO indica que el tratamiento con *Calceolaria Tripartita* ayudó a eliminar la materia orgánica biodegradable del agua. Esta materia orgánica es la que consume oxígeno durante su descomposición.

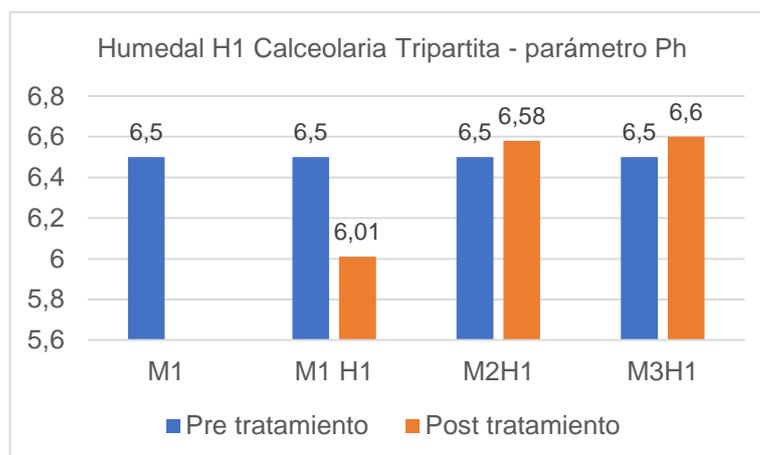
**Tabla 14**

Humedal H1 *Calceolaria Tripartita* - parámetro pH

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	6.5		
M1 H1		6.01	6.6 – 8.5
M2H1		6.58	
M3H1		6.6	

**Figura 6**

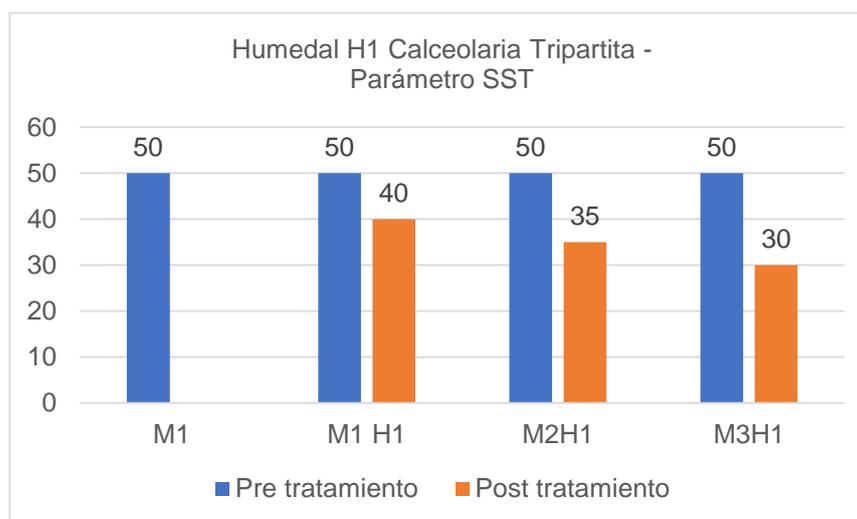
*Comparación de parámetros por muestra – pH*



Los resultados del pH en la Tabla 14 y la Figura 7 muestran ligeras variaciones después del tratamiento con *Calceolaria Tripartita*. Veamos los detalles por muestra: Muestra M1: El pH se mantuvo casi sin cambios (de 6.5 a 6.01). Muestras M2H1 y M3H1: Se observa un ligero aumento del pH (a 6.58 y 6.6 respectivamente). En general, el rango aceptable de pH para aguas tratadas suele estar entre 6 y 9. Por lo tanto, los valores del pH en las muestras se encuentran dentro de ese rango.

**Tabla 15***Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro SST*

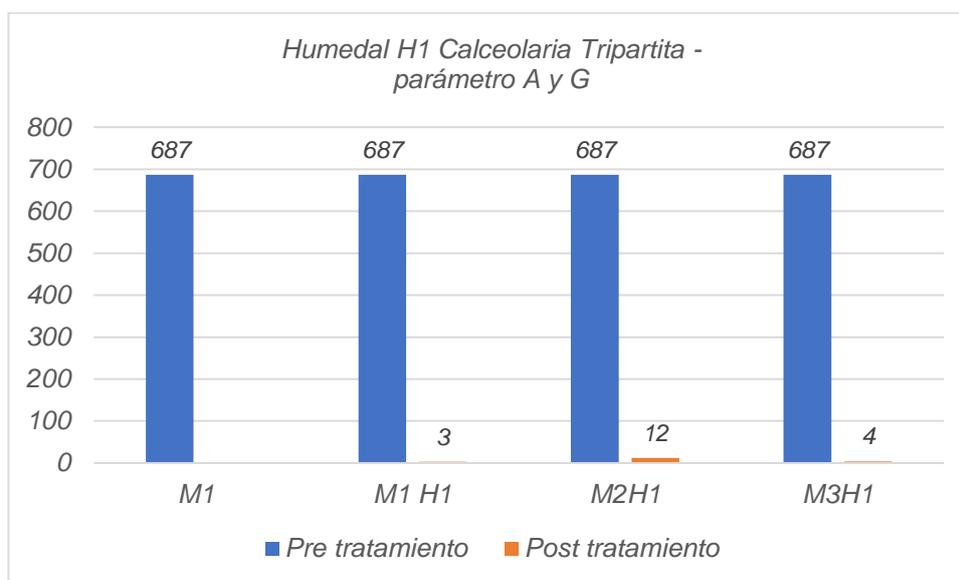
Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	50		
M1 H1		40	
M2H1		35	150
M3H1		30	

**Figura 7***Comparación de parámetros por muestra - SST*

Los resultados de la Tabla 15 y la Figura 8 indican una disminución en la concentración de Sólidos Suspendidos Totales (SST) después del tratamiento con la planta *Calceolaria Tripartita*. El detalle por muestra: Todas las muestras (M1, M2H1 y M3H1) presentan una reducción de los SST tras el tratamiento. La muestra M1 bajó de 50 mg/L a 40 mg/L. Las muestras M2H1 y M3H1 tuvieron una reducción mayor, llegando a 35 mg/L y 30 mg/L respectivamente. La disminución de SST indica la eliminación de partículas en suspensión del agua gracias al tratamiento con *Calceolaria Tripartita*. Estas partículas pueden incluir materia orgánica, minerales u otros contaminantes.

**Tabla 16***Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro A y G*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	687		
M1 H1		3	
M2H1		12	20
M3H1		4	

**Figura 8***Comparación de parámetros por muestra - A y G*

Los resultados en la Tabla 16 y la Figura 9 indican una disminución significativa en la concentración de Aceites y Grasas (A y G) después del tratamiento con la planta *Calceolaria Tripartita*. Observamos lo siguiente por muestra: Todas las muestras (M1, M2H1 y M3H1) presentan una gran reducción de A y G tras el tratamiento. La muestra M1 bajó de 687 mg/L a 3 mg/L. Las muestras M2H1 y M3H1 también tuvieron reducciones importantes, llegando a 12 mg/L y 4 mg/L respectivamente. Esta disminución indica la efectividad del tratamiento con *Calceolaria Tripartita* para remover aceites y grasas presentes en el agua.

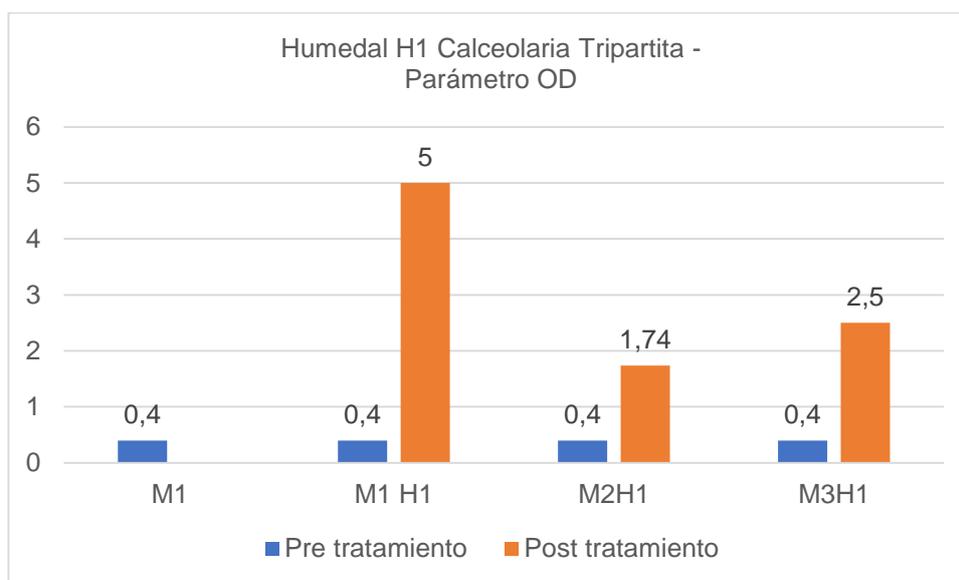
**Tabla 17**

*Humedal H1 Calceolaria Tripartita - parámetro OD*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento
M1	0.4	
M1 H1		5
M2H1		1.74
M3H1		2.5

**Figura 9**

*Comparación de parámetros por muestra - OD*



El parámetro analizado en la tabla 17 y la Figura 10 es el oxígeno disuelto (OD). Los valores: Muestra M1: Antes del tratamiento, el OD es 0.4 mg/L. Muestra M1 H1: Después del tratamiento, el OD aumenta significativamente a 5 mg/L. Muestra M2H1: También después del tratamiento, el OD es 1.74 mg/L. Muestra M3H1: El OD en esta muestra post-tratamiento es 2.5 mg/L. Estos resultados sugieren que la *Calceolaria Tripartita* está mejorando la oxigenación del agua, lo que es beneficioso para la calidad del efluente.

## Parámetros microbiológicos

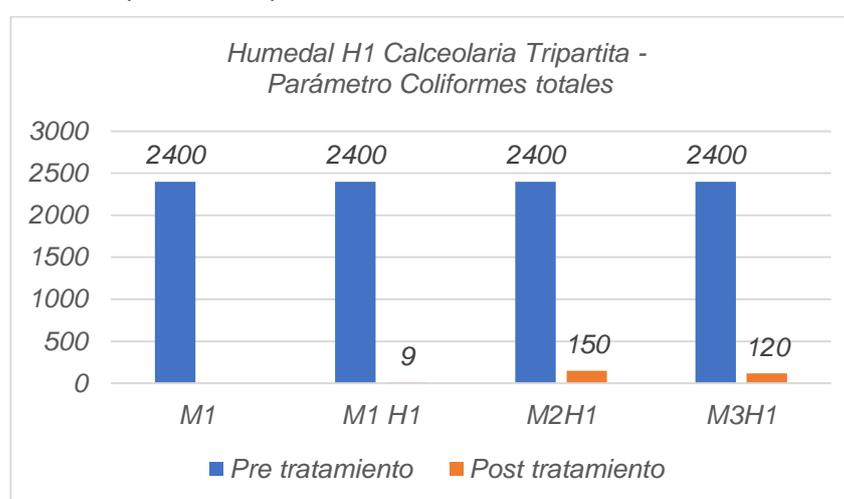
**Tabla 18**

*Humedal H1 Calceolaria Tripartita - Parámetro Coliformes totales*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LPM
M1	2400		
M1 H1		9	10,000
M2H1		150	
M3H1		120	

**Figura 10**

*Comparación de parámetros por muestra - Coliformes totales*



Los resultados de la Tabla 18 y la Figura 11 indican una disminución en la concentración de coliformes totales después del tratamiento con la planta *Calceolaria Tripartita*, aunque no en todos los casos se alcance la eliminación completa. Observamos lo siguiente por muestra: La muestra M1 H1 presenta una reducción mínima, de 2400 a 9 NMP/100 mL. Las muestras M2H1 y M3H1 si muestran una reducción considerable, llegando a 150 y 120 NMP/100 mL respectivamente. Es importante destacar que la presencia de coliformes totales indica una posible contaminación fecal del agua. Si bien el tratamiento con *Calceolaria Tripartita* logró reducir la concentración en la mayoría de las muestras, puede ser necesario implementar medidas adicionales para garantizar la eliminación completa de coliformes totales.

#### 4.1.2. RESULTADOS DE LABORATORIO DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DE LOS HUMEDALES H2

Resultados de laboratorio y análisis Para el humedal H2 *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua)

➤ Parámetros físico químicos

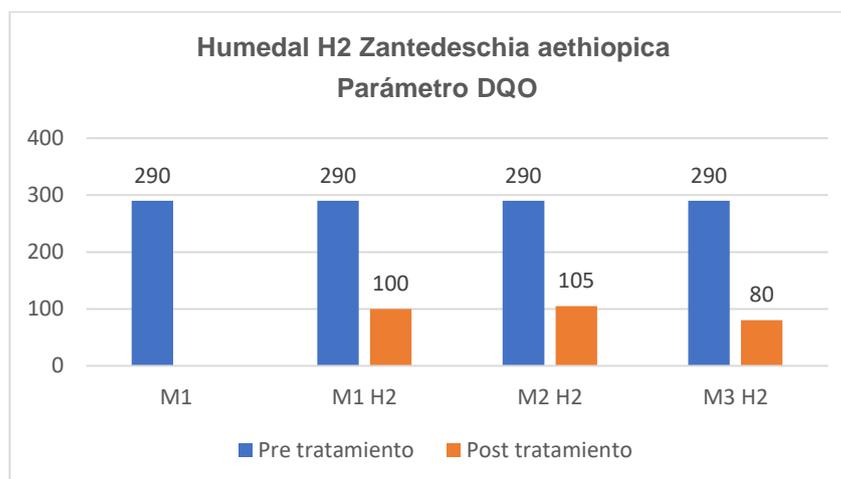
**Tabla 19**

*Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro DQO*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	290		
M1 H2		100	200
M2 H2		105	
M3 H2		80	

**Figura 11**

*Comparación de resultados por parámetro – DQO*



Los resultados en la Tabla 19 y la Figura 12 indican una disminución significativa en la concentración de DQO (Demanda Química de Oxígeno) después del tratamiento con la planta *Zantedeschia aethiopica*. Se observa lo siguiente por muestra: Todas las muestras (M1, M2 y M3) presentan una reducción importante del DQO tras el tratamiento. La concentración inicial de DQO era de 290 mg/L en todas las muestras. Después del tratamiento, la concentración de DQO bajó a 100 mg/L en la muestra M1H2, 105 mg/L en la muestra M2H2 y 80 mg/L en la muestra M3H2. Esta disminución en la DQO indica una

eliminación de materia orgánica del agua gracias a la acción de la planta *Zantedeschia aethiopica* y los microorganismos del humedal.

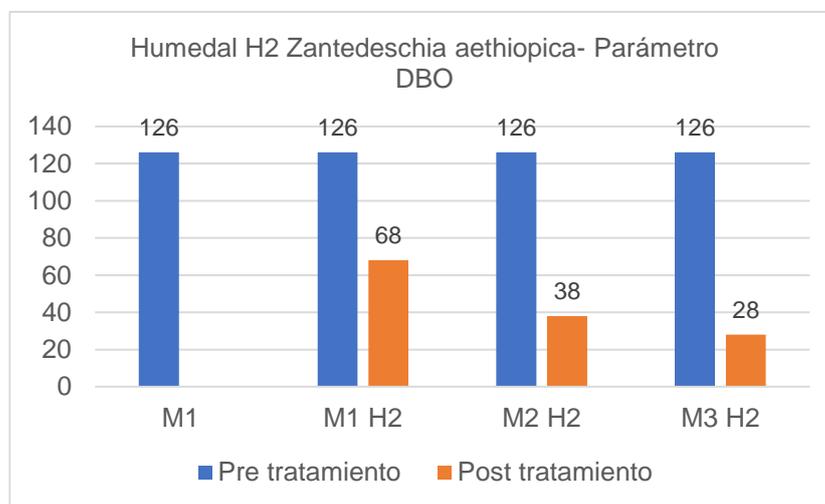
**Tabla 20**

*Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro DBO*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	126		
M1 H2		68	
M2 H2		38	100
M3 H2		28	

**Figura 12**

*Comparación de resultados por parámetro – DBO*



En la tabla 20 y la Figura 13 se muestran los resultados para la especie *Zantedeschia aethiopica* en el humedal H2, específicamente en el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO): Muestra M1: Antes del tratamiento, la concentración de DBO es de 126 mg/L. Muestra M1 H2: Después del tratamiento, la concentración de DBO disminuye significativamente a 68 mg/L. Muestra M2 H2: En esta muestra post-tratamiento, la concentración de DBO es de 38 mg/L. Muestra M3 H2: La concentración de DBO más baja se registra en esta muestra, con 28 mg/L. Estos resultados indican que la *Zantedeschia aethiopica* está efectivamente reduciendo la carga orgánica en el agua tratada.

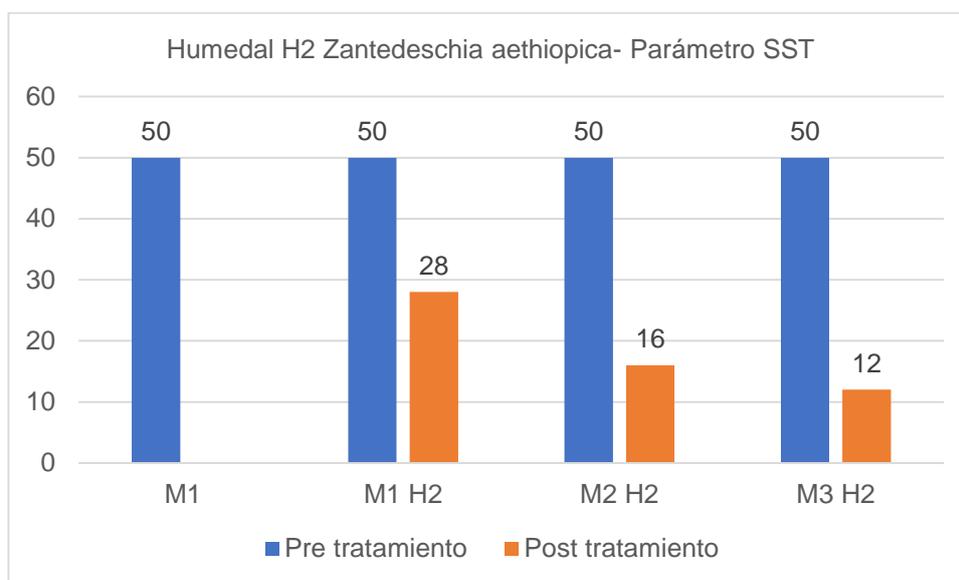
**Tabla 21**

*Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro SST*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	50		
M1 H2		28	
M2 H2		16	150
M3 H2		12	

**Figura 13**

*Comparación de resultados por parámetro – SST*



En la tabla 21 y la Figura 14 se muestran los resultados del análisis del humedal H2, pretratamiento: Todas las muestras con concentración inicial de 50 mg/L de sólidos suspendidos totales (SST). Post tratamiento: Muestra M1 H2: SST disminuyeron a 28 mg/L. Muestra M2 H2: SST disminuyeron a 16 mg/L. Muestra M3 H2: SST disminuyeron a 12 mg/L. Límite Máximo Permitido (LMP): 150 mg/L. Todas las muestras después del tratamiento se encuentran muy por debajo del Límite Máximo Permitido (150 mg/L), indicando una alta eficiencia del humedal con *Zantedeschia aethiopica* en la reducción de SST.

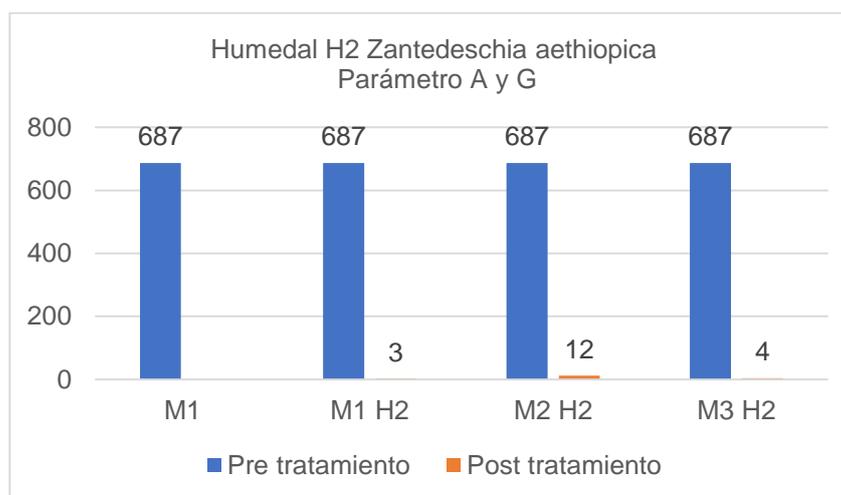
**Tabla 22**

*Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro A y G*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	687		
M1 H2		3	20
M2 H2		12	
M3 H2		4	

**Figura 14**

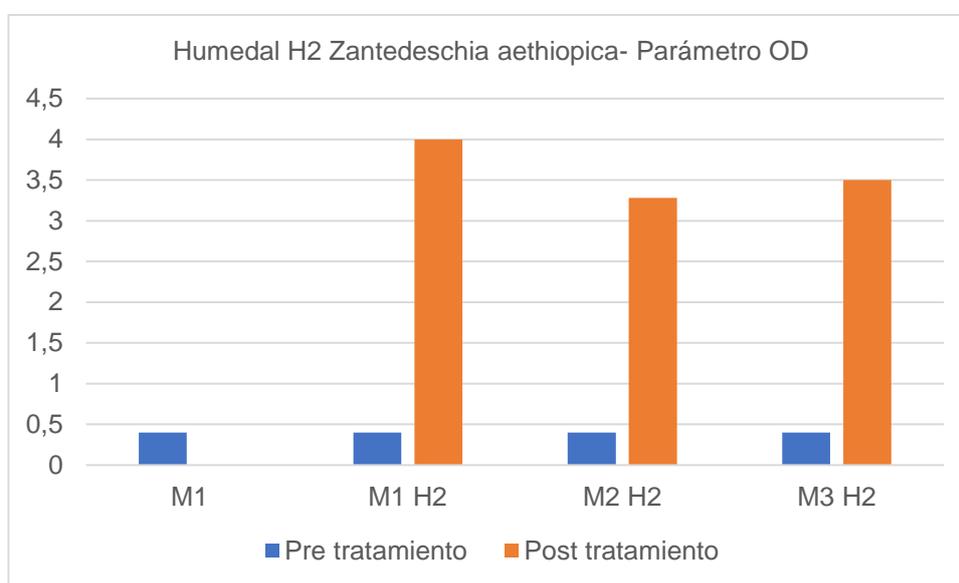
*Comparación de resultados por parámetro – A y G*



En la tabla 22 y la Figura 15 del análisis del tratamiento de aguas residuales utilizando el humedal H2 con la macrófita *Zantedeschia aethiopica*, se observa una notable reducción en los valores del parámetro A y G después del tratamiento. Estos resultados reflejan que el humedal H2 con *Zantedeschia aethiopica* es muy eficaz en la remoción de contaminantes, logrando reducir significativamente los valores de los parámetros A y G de 687 a niveles mucho más bajos (3, 12 y 4 respectivamente). Esto confirma la capacidad fitorremediadora de *Zantedeschia aethiopica*, alineándose con estudios de otros autores que también han demostrado la eficacia de esta planta para tratar el agua residual.

**Tabla 23***Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro OD*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento
M1	0.4	
M1 H2		4
M2 H2		3.28
M3 H2		3.5

**Figura 15***Comparación de resultados por parámetro – OD*

En la tabla 23 y la Figura 16 se muestran los resultados del análisis del tratamiento de aguas residuales utilizando el humedal H2 con la macrófita *Zantedeschia aethiopica*, se observa un aumento significativo en los valores de oxígeno disuelto (OD) después del tratamiento. El oxígeno disuelto es un parámetro crucial en la calidad del agua, ya que niveles adecuados de OD son esenciales para la vida acuática. El valor inicial del OD es de 0.4 mg/L, indicando una baja concentración de oxígeno en el agua residual antes del tratamiento.

Muestra M1 H2 (Post tratamiento): Después del tratamiento, el OD aumenta significativamente a 4 mg/L. Este incremento sugiere una mejora considerable en la calidad del agua, proporcionando un ambiente más adecuado para la vida acuática. Muestra M2 H2 (Post tratamiento):

Aquí, el valor del OD post tratamiento es de 3.28 mg/L. Aunque es un poco menor que en M1 H2, sigue siendo una mejora notable respecto al valor inicial. Estos resultados indican que el humedal H2 con *Zantedeschia aethiopica* es muy eficaz en la oxigenación del agua residual. El aumento de los niveles de oxígeno disuelto después del tratamiento muestra la capacidad del humedal para mejorar significativamente la calidad del agua.

### Parámetros microbiológicos

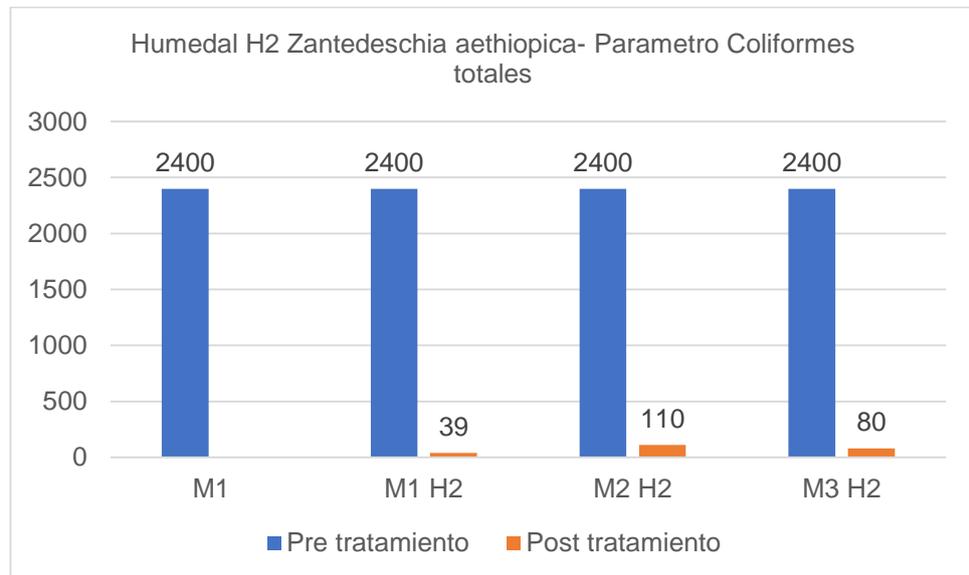
**Tabla 24**

*Humedal H2 Zantedeschia aethiopica - Parámetro Coliformes totales*

Muestra	Pre tratamiento	Post tratamiento	LMP
M1	2400		
M1 H2		39	10,000
M2 H2		110	
M3 H2		80	

**Figura 16**

*Comparación de resultados por parámetro – coliformes totales*



La tabla 24 y la Figura 17 del análisis de los resultados del tratamiento del agua residual con el humedal H2 con la macrófita *Zantedeschia aethiopica*, enfocado en el parámetro de coliformes

totales, revela una notable eficiencia en la reducción de estos contaminantes bacteriológicos. Los coliformes totales son un indicador clave de la calidad microbiológica del agua, y su reducción es esencial para garantizar la seguridad sanitaria. Muestra M1 (Pretratamiento): Antes del tratamiento, la cantidad de coliformes totales es de 2400 NMP (Número Más Probable) por 100 ml de agua, lo cual indica una alta contaminación bacteriológica. Muestra M2 H2 (Post tratamiento): En esta muestra, la concentración de coliformes totales post tratamiento es de 110 NMP/100 ml. Aunque es un valor más alto comparado con M1 H2, sigue siendo una reducción significativa desde los 2400 NMP/100 ml iniciales. Estos resultados sugieren que el humedal H2 con *Zantedeschia aethiopica* es altamente eficaz en la eliminación de coliformes totales del agua residual. La drástica reducción de coliformes post tratamiento en todas las muestras evidencia la capacidad del humedal para mejorar la calidad microbiológica del agua, lo cual es crucial para cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de 10,000 NMP/100 ml.

## 4.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

**Tabla 25**

*Parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con Macrófita Zantedeschia aethiopica (cartucho de agua) en Huarichaca, Huánuco 2024*

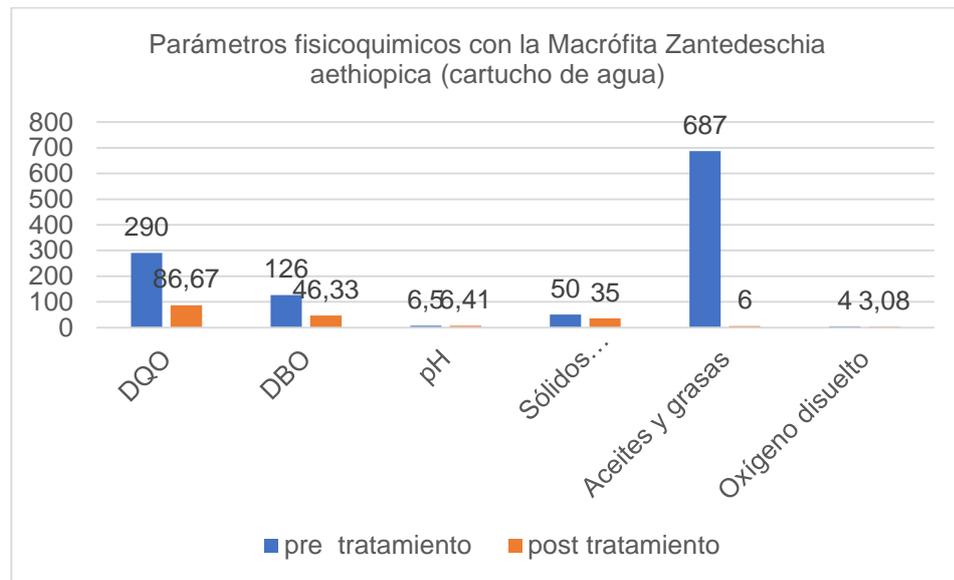
	<b>Macrófita Zantedeschia aethiopica (cartucho de agua)</b>			
	<b>T0</b>	<b>Xmedia</b>	<b>SD</b>	<b>S<sup>2</sup></b>
DQO	290,0	86,67	25,17	633,33
DBO	126,0	46,33	38,21	1460,33
pH	6,5	6,41	0,34	0,12
Sólidos suspendidos totales	50,0	35,00	5,00	25,00
Aceites y grasas	687,0	6,0	2,0	4,0
Oxígeno disuelto	4,0	3,08	1,71	2,91

En la tabla 25 se describe los parámetros físicos tras el uso de Macrófita *Zantedeschia aethiopica* observado que en la demanda química de oxígeno (DQO) hay disminución con una  $X = 86,67 \text{ mg/L} \pm 25,17$  siendo que el  $T_0 = 290$

mg/L; en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) una  $X = 46,33 \text{ mg/L} \pm 38,21$  con  $T_0 = 126 \text{ mg/L}$ ; el pH en el  $T_0 = 6,5$  disminuyendo a  $6,41 \pm 0,34$ ; los sólidos suspendidos totales con  $T_0 = 50 \text{ mg/L}$  disminuyendo a  $35 \text{ mg/L} \pm 5$ ; aceites y grasas en el  $T_0 = 687$  con una disminución a  $6 \text{ mg/L} \pm 2$  y el oxígeno disuelto en el  $T_0 = 4$  con disminución a  $3,08 \text{ mg/L} \pm 1,71$ .

**Figura 17**

*Variación de parámetros fisicoquímicos en el humedal h2 con la Macrófita Zantedeschia aethiopica (cartucho de agua)*



- La remoción de DQO es significativa, con una reducción del 70.10%, indicando una alta eficiencia en la reducción de materia orgánica.
- La remoción de DBO también es notable, con una reducción del 63.24%, lo que muestra una buena eficiencia en la degradación de la materia orgánica biodegradable.
- El pH se mantuvo relativamente estable, con un cambio mínimo de 0.09, lo cual es positivo para el equilibrio biológico del tratamiento.
- Reducción del 30% en los sólidos suspendidos, indicando un buen rendimiento en la clarificación del agua.
- **A y G:** Alta eficiencia con una remoción del 99.13%, lo cual es excelente para el tratamiento de contaminantes oleosos.
- Reducción mínima de oxígeno disuelto, lo que podría indicar consumo por microorganismos en el proceso de tratamiento.

**Tabla 26**

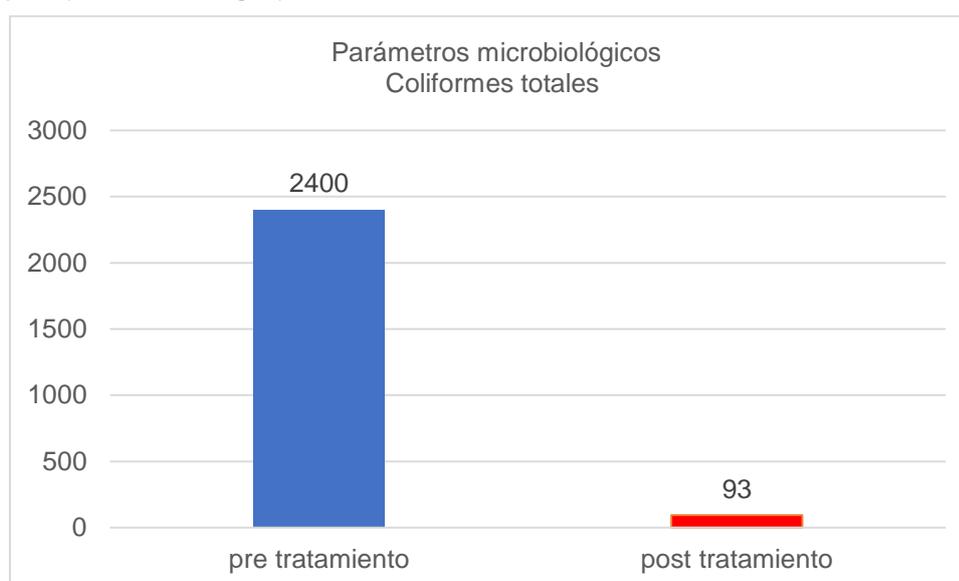
Parámetros microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con macrófita *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) en Huarichaca, Huánuco 2024

	Macrófita <i>Zantedeschia aethiopica</i> (cartucho de agua)			
	T0			
	Xinicial	Xmedia	SD	S <sup>2</sup>
Coliformes totales	2400,00	93,00	74,28	5517,00

En la tabla 26 se describe los parámetros químicos en el tratamiento de las aguas residuales con Macrófita *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) observando una reducción siendo que el T0= 2400 a una media de 93 NMP/100 ml  $\pm$  72,28.

**Figura 18**

Variación de parámetros microbiológicos en el humedal h2 con la Macrófita *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua)



Los coliformes totales se redujeron de 2400 NMP/100 ml a 93 NMP/100 ml, lo que representa una reducción del 96.13%. Este resultado muestra una alta eficiencia de la macrófita *Zantedeschia aethiopica* en la remoción de coliformes totales del agua residual doméstica.

**Tabla 27**

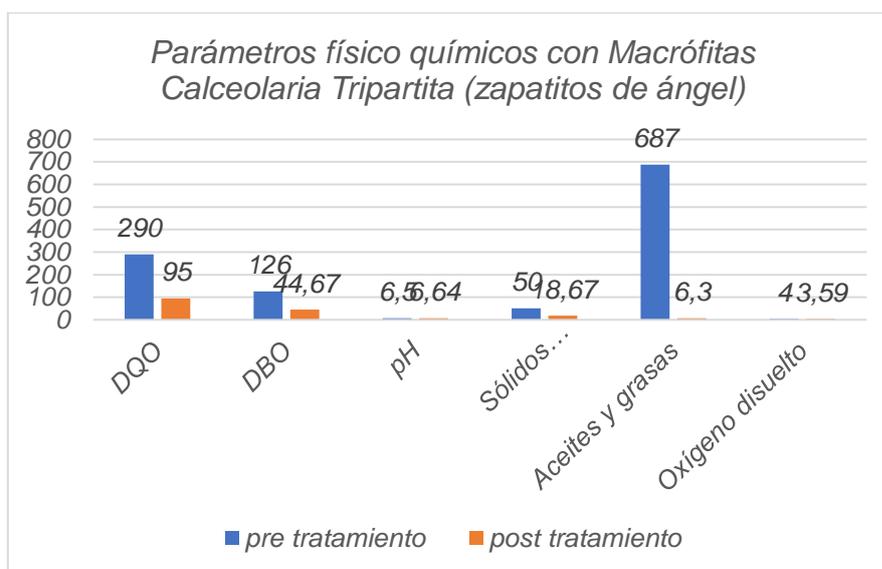
Parámetros fisicoquímicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con *Macrófita Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) en Huarichaca, Huánuco 2024

	Macrófita <i>Calceolaria Tripartita</i> (zapatitos de ángel)			
	T0	Xmedia	SD	S <sup>2</sup>
DQO	290,00	95,00	13,23	175,00
DBO	126,00	44,67	20,82	433,33
pH	6,50	6,64	,23	,05
Sólidos suspendidos totales	50,00	18,67	8,33	69,33
Aceites y grasas	687,0	6,3	4,9	24,3
Oxígeno disuelto	4,00	3,59	,37	,14

En la tabla 27 se describe los parámetros físicos en las aguas residuales con *Macrófita Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) observando disminución en la DQO en el T0= 290 mg/L a 95 mg/L  $\pm$  13,23; en la DBO con T0= 126 a 44,67 mg/L  $\pm$  20,82; en sólidos suspendidos totales de T0= 50 mg/L a 18,67 mg/L  $\pm$  8,33; en aceites y grasas de T0= 687 mg/L a 6,3 mg/L  $\pm$  4,9 y en oxígeno disuelto de no hay una diferencia amplia con SD= 0,37.

**Figura 19**

Variación de los parámetros fisicoquímicos promedio de humedal H1



- la concentración inicial de DQO era de 290 mg/L, mientras que después del tratamiento se redujo a 95 mg/L. Esto representa un porcentaje de

remoción del 67.24%. Este valor indica una alta eficiencia del tratamiento en la eliminación de materia orgánica presente en el agua residual.

- Inicialmente, la DBO era de 126 mg/L y se redujo a 44.67 mg/L después del tratamiento. El porcentaje de remoción en este caso es del 64.54%, lo que demuestra la efectividad de la macrófita en la reducción de la carga orgánica biodegradable en el agua residual.
- la concentración de SST era de 50 mg/L y disminuyó a 18.67 mg/L después del tratamiento. Esto representa un porcentaje de remoción del 62.66%, lo que indica que la macrófita es eficaz en la eliminación de partículas sólidas suspendidas en el agua.
- La concentración inicial de aceites y grasas era de 687 mg/L y se redujo a 6.3 mg/L después del tratamiento. El porcentaje de remoción es notablemente alto, alcanzando el 99.08%. Este resultado destaca la capacidad de la macrófita para eliminar eficientemente aceites y grasas del agua residual.

**Tabla 28**

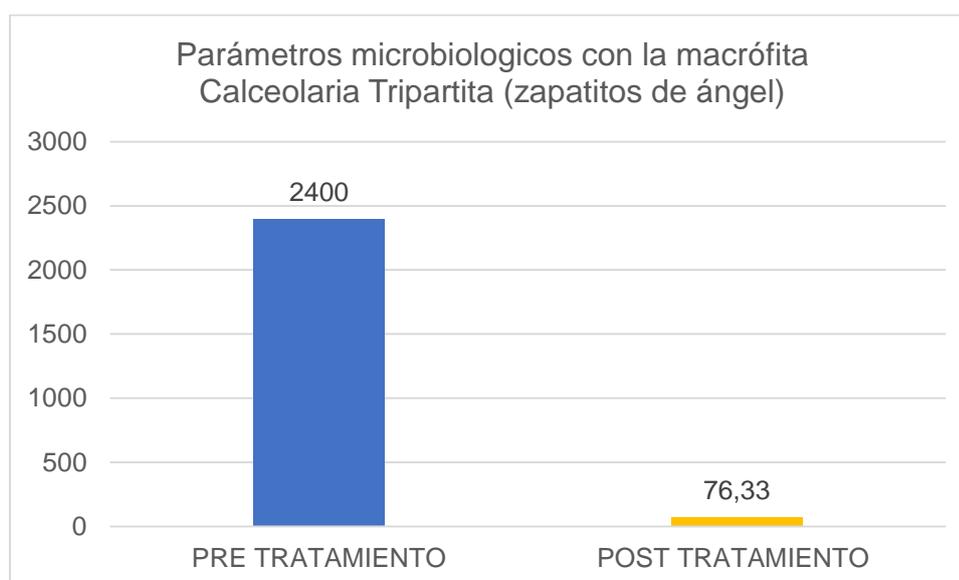
*Parámetros microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con macrófita Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel) en Huarichaca, Huánuco 2024*

	Macrófita <i>Zantedeschia aethiopica</i> (cartucho de agua)			
	T0			
	Xinicial	Xmedia	SD	S <sup>2</sup>
Coliformes totales	2400	76,33	35,64	1270,33

En la tabla 28 se describe los parámetros químicos en el tratamiento de las aguas residuales con *Macrófita Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) observando una reducción siendo que el T0= 2400 a una media de 76,33 NMP/100 ml  $\pm$  35,64

**Figura 20**

*Parámetros microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas con macrófita Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel) en Huarichaca, Huánuco 2024*



- El porcentaje de remoción de coliformes totales utilizando la macrófita *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) el porcentaje de remoción de coliformes totales es aproximadamente 96.82%.

**Tabla 29**

*Parámetros físicoquímicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas*

Parámetros	Aplicación de los humedales con macrofitas	
	PRE	POST
	X inicial	Media
DQO	290,00	90,83
DBO	126,00	45,50
pH	6,50	6,52
Sólidos suspendidos totales	50,00	26,83
Aceites y grasas	687,0	6,2
Oxígeno disuelto	4,00	3,34

En la tabla 29 se describen los parámetros físicos antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas; observando una disminución significativa en todos los parámetros; a excepción de pH siendo que hay aumento en el post a 6,52. Y una disminución mínima del oxígeno disuelto de  $\pm 0,66$  mg/dl.

**Tabla 30**

*Parámetros microbiológicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas*

Parámetros	Aplicación de los humedales con macrofitas	
	Antes	Después
	X inicial	X
Coliformes totales	2400,00	84,67

En la tabla 30 se describen los parámetros químicos antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas; observando una disminución significativa en los coliformes totales siendo que después de la intervención se obtuvo X= 84,67.

### 4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

#### 4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

**Ha:** los humedales con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *calceolaria tripartita* es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024

**Ho:** los humedales con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *calceolaria tripartita* no es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024

**Tabla 31**

*Significancia en los parámetros del humedal con zantedeschia aethiopica (Cartucho de agua)*

Parámetro	p-valor	Significancia
DQO	0	Sí
DBO	0.023	Sí
pH	0.657	No
Sólidos suspendidos totales	0.232	No
Aceites y grasas	0.013	Sí
Oxígeno disuelto	0.467	No
Coliformes totales	0	Sí

**Tabla 32**

*Significancia en los parámetros del humedal con Calceolaria tripartita (Zapatitos de ángel)*

Parámetro	p-valor	Significancia
DQO	0	Sí
DBO	0.034	Sí
pH	0.789	No
Sólidos suspendidos totales	0.02	Sí
Aceites y grasas	0	Sí
Oxígeno disuelto	0.678	No
Coliformes totales	0.012	Sí

En la tabla 31 y 32 se puede observar los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas, y coliformes totales muestran una reducción significativa en ambas especies de macrófitas (*Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria tripartita*), lo que indica eficiencia en la depuración de estos contaminantes.

Los parámetros de pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto no mostraron una reducción significativa en la mayoría de los casos.

Con base en estos resultados, podemos rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), concluyendo que los humedales con las macrófitas *Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria tripartita* son eficientes para tratar las aguas residuales domésticas de la zona de Huarichaca - Huánuco en 2024 para los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas, y coliformes totales.

#### 4.3.2. HIPÓTESIS ESPECIFICA

##### Hipótesis específica 1

**Ha1:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Zantedeschia aethiopica* resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Ho:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Zantedeschia aethiopica* no resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Tabla 33**

*Comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos con la implementación de la especie *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) en la depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca*

Parámetros fisicoquímicos	T	Media	p-valor
DQO	0,508	86,67	0,000
DBO	0,066	46,33	0,023

PH	0,981	6,41	0,657
Sólidos suspendidos totales	2,913	35,0	0,232
Aceites y grasas	0,108	6,0	0,013
Oxígeno disuelto	0,509	3,08	0,467
Coliformes totales	0,350	93	0,000

En la tabla 33 se describe los parámetros:

- DQO: (Demanda Química de Oxígeno): p-valor = 0.000 Hay una reducción significativa de la Demanda Química de Oxígeno.
- DBO: (Demanda Bioquímica de Oxígeno): p-valor = 0.023 Hay una reducción significativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.
- Aceites y grasas: p-valor = 0.013 Hay una reducción significativa en los niveles de aceites y grasas.
- Coliformes totales: p-valor = 0.000 Hay una reducción significativa de coliformes totales.
- Los parámetros con un p-valor > 0.05 no muestran una reducción estadísticamente significativa: pH: p-valor = 0.657, Sólidos suspendidos totales: p-valor = 0.232, Oxígeno disuelto: p-valor = 0.467
- Un p-valor menor a 0.05 indica que hay una probabilidad menor al 5% de que los resultados observados sean producto del azar. En otras palabras, un p-valor < 0.05 sugiere que los resultados son estadísticamente significativos y que es muy probable que las diferencias observadas sean debidas al efecto de la implementación de la especie *Calceolaria tripartita* en la depuración del agua, y no a la variabilidad aleatoria.

Los parámetros DQO, DBO, aceites y grasas, y coliformes totales tienen p-valores menores a 0.05, indicando una reducción significativa. Esto nos permite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), concluyendo que *Zantedeschia aethiopica* es eficiente en la depuración de aguas residuales domésticas en Huarichaca para estos parámetros.

## Hipótesis específica 2

**Ha2:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Calceolaria tripartita* resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Ho:** La implementación de humedales artificiales con la especie *Calceolaria tripartita* no resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

**Tabla 34**

*Comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos con la implementación de la especie Calceolaria Tripartita (zapatitos de ángel) en la depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca*

<b>Parámetros físicos químicos</b>	<b>t</b>	<b>Media</b>	<b>p-valor</b>
DQO	0,408	95,0	0,000
DBO	0,086	44,77	0,034
PH	0,971	6,64	0,789
Sólidos suspendidos totales	3,913	18,67	0,020
Aceites y grasas	0,508	6,33	0,000
Oxígeno disuelto	0,709	3,59	0,678
Coliformes totales	0,550	76,3	0,012

En la tabla 34 se describen los parámetros con un p-valor < 0.05 en la tabla indican que la implementación del humedal artificial con *Calceolaria tripartita* tiene un efecto significativo en la reducción de esos parámetros:

- DQO (Demanda Química de Oxígeno): p-valor = 0.000, lo cual indica una reducción significativa de la DQO.
- DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno): p-valor = 0.034, lo cual indica una reducción significativa de la DBO.
- Sólidos suspendidos totales: p-valor = 0.020, lo cual indica una reducción significativa de los sólidos suspendidos.
- Aceites y grasas: p-valor = 0.000, lo cual indica una reducción

significativa de aceites y grasas.

- Coliformes totales: p-valor = 0.012, lo cual indica una reducción significativa de los coliformes totales.
- Por otro lado, los parámetros con un p-valor mayor a 0.05 no muestran una reducción estadísticamente significativa: pH, OD.

Esto nos permite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), concluyendo que *Calceolaria tripartita* es eficiente en la depuración de aguas residuales domésticas en Huarichaca para estos parámetros.

### Hipótesis específica 3

**Ha3:** los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca tiene variación significativa antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

**Ho:** los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca no tiene variación significativa antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

**Tabla 35**

*Comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas*

Parámetros físicos químicos	Intervención	X	T	gl	p-valor
DQO	Antes	290,0			
	Después	90,8	9,939	5	0,000
DBO	Antes	126,0			
	Después	45,5	2,706	5	0,042
PH	Antes	6,5			
	Después	6,5	-0,078	5	0,941

Sólidos suspendidos totales	Antes	50,0			
	Después	26,8	1,976	5	0,105
Aceites y grasas	Antes	687,0			
	Después	6,2	186,9	5	0,000
Oxígeno disuelto	Antes	4,0			
	Después	3,3	0,539	5	0,613
Coliformes totales	Antes	2400,0			
	Después	84,6	40,5	5	0,000

En la tabla 35 se realiza la comparación de medias de los parámetros fisicoquímicos mediante la prueba de T de Student, obteniendo en variaciones significativas en los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas, y coliformes totales, mostrando una depuración efectiva de las aguas residuales domésticas. Sin embargo, no hubo una variación significativa en los parámetros de pH, sólidos suspendidos totales y oxígeno disuelto.

Los parámetros DQO, DBO, aceites y grasas, y coliformes totales presentan p-valores menores a 0.05, indicando una reducción significativa. Esto nos permite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_a$ ), concluyendo que los humedales con macrófitas son efectivos en la depuración de aguas residuales domésticas en Huarichaca para estos parámetros.

## CAPÍTULO V

### CONTRASTACION DE LOS RESULTADOS

Según Villena, (2018) el agua es un elemento vital para la vida de todo ser vivo, la cual dependiendo de su calidad, cantidad, constitución y uso, puede convertirse en un factor de prevención o de trasmisión de enfermedades; por la presencia de contaminantes en casi todos los acuíferos y aguas superficiales, para la proliferación de enfermedades infecciosas.(Cárdenas & Barbosa, 2015)

Siendo los humedales una tecnología eficiente para tratar aguas residuales en el sector rural debido a su costo de operación y simplicidad en el manejo tecnológico.(García González, 2016)

En el estudio se evaluó la efectividad de los humedales en la depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca, tras la implementación de la especie *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) se observó significancia  $< 0,05$  en los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas y coliformes totales.

Concordando con Beltrán-Dávalos et al. (2019) quien menciona que la alta capacidad de acumulación de metales pesados y su adaptabilidad a medios hidromorfos indican que *Z. aethiopica* es promisoría para la rehabilitación de áreas contaminadas con concentraciones de  $\text{Cr}+6 < 118.96$  mg/kg, que corresponde a su CL50.

Del mismo modo, con Castro et al., (2018) donde la macrófita emergente de *Zantedeschia aethiopica* logró la capacidad de remoción al 49% de los componentes químicos y microbiológicos, para un caudal de 0.67 l/s con un TRH de 48 horas. Los parámetros como; pH, OD, T°,  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , DBO, DQO, nitritos y coliforme total y fecal fue comparado con el ECA (DS N° 015-2015-MINAM) categoría 3 para riego de vegetales de tallo alto y bajo, los cuales cumplen con la norma indicada.

Asimismo, Cárdenas & Barbosa, (2015) en sus resultados indica que elimina una cantidad significativa de contaminantes, disminución de DQO, DBO y sólidos.

Aunque es capaz de tolerar ciertos niveles de contaminación, *Zantedeschia aethiopica* puede verse afectada negativamente por concentraciones muy altas de metales pesados y otros contaminantes tóxicos. Esto puede limitar su eficacia y sobrevivencia en aguas muy contaminadas.(Lone et al., 2008)

La planta requiere condiciones húmedas constantes, lo cual puede ser un desafío en sistemas donde el control del nivel de agua no es óptimo. Las fluctuaciones en los niveles de agua pueden afectar su crecimiento y capacidad de tratamiento.(Kaseva, 2004)

En algunos casos, *Zantedeschia aethiopica* puede comportarse como una especie invasora, desplazando a las plantas nativas y alterando los ecosistemas naturales. Esto es particularmente preocupante en áreas donde no es nativa.(CABI, 2019)

Por otro lado, se implementó la especie *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) observando significancia  $< 0,05$  en los parámetros de DQO, DBO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y coliformes totales. Siendo este humedal efectivo en algunos parámetros para la depuración del agua.

Siendo estudiado por sus propiedades en la depuración de aguas residuales debido a su capacidad para absorber y metabolizar diversos contaminantes presentes en el agua, siendo utilizado en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas imitan los humedales naturales y utilizan plantas, suelo y microorganismos para tratar el agua de manera eficiente.

Concordando con Vara & de Oliveira, (2003) quienes han demostrado que la *Calceolaria Tripartita* es efectiva en la absorción y acumulación de metales pesados como el cadmio, plomo y mercurio, lo que la hace útil en la depuración de aguas residuales contaminadas con estos elementos.

Además, esta planta puede absorber nitratos y fosfatos, ayudando a reducir la eutrofización en cuerpos de agua afectados por altas concentraciones de nutrientes(Pilon-Smits, 2005)

La utilización de *Calceolaria tripartita* para la depuración de aguas residuales es un método ecológico y sostenible que reduce la dependencia de

productos químicos y tecnologías costosas.(Kivaisi, 2001)

Encontrando limitantes para la efectividad de *Calceolaria tripartita*; ya que puede variar según las condiciones climáticas y estacionales, lo que puede limitar su uso en regiones con climas extremos.(Carvalho et al., 2013)

## CONCLUSIONES

1. Se observa cambios significativos en los parámetros fisicoquímicos con la implementación de la especie *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) observando significancia  $< 0,05$  en los parámetros de DQO, DBO, aceites y grasas y coliformes totales.
2. Con la implementación de la especie *Calceolaria Tripartita* (zapaticos de ángel) se observa una significancia  $< 0,05$  en los parámetros de DQO, DBO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y coliformes totales.
3. Se observa variaciones significativas antes y después de su aplicación de los humedales en los parámetros físicos de la Demanda Química de Oxígeno (DBO) y aceites y grasas con p- valor  $< 0,05$  (0,000) y en la Demanda Bioquímica de Oxígeno con p-valor  $< 0,05$  (0,042). Y en el parámetro químico hay significancia en los coliformes totales con una significancia  $< 0,05$  (0,000)

## RECOMENDACIONES

Promover investigaciones adicionales para explorar el uso de otras especies de macrófitas que abundan en la zona, que puedan mejorar aún más la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en diferentes contextos ambientales.

Se recomienda la implementación a mayor escala de humedales artificiales utilizando *Zantedeschia aethiopica* y *Calceolaria Tripartita* en otras zonas rurales con problemas similares de contaminación de aguas residuales.

Capacitar y educar a la comunidad local sobre la importancia y su fácil instalación y mantenimiento de los humedales artificiales para que se pueda adaptar en distintos ámbitos y así disminuir la contaminación mediante aguas residuales. La participación comunitaria puede ser crucial para el éxito a largo plazo.

Se recomienda el uso de la planta *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) en humedales artificiales de flujo superficial para el tratamiento de aguas residuales. Esta especie ha demostrado una eficacia significativa en adaptarse a entornos secos e inundados esto podría ser beneficioso y eficaz para uso en cualquier época del año que el tallo en contacto con el agua forma raíces el cual puede mejorar aún más la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en diferentes contextos ambientales y contribuir a una mayor sostenibilidad en el manejo de recursos hídricos.

Evaluar la integración de tecnologías complementarias, como biofiltros o sistemas de aireación, que puedan trabajar en conjunto con los humedales artificiales para mejorar la calidad del agua tratada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arce P. (2018) Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción. Proyecto para optar por el título de Especialista en Gestión Ambiental Colombia (2018) universidad fundación universidad de América facultad de educación permanente y avanzada especialización en gestión ambiental Bogotá. (2018). Recuperado de: <https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7132>
- Atariguana G. & Urvina G. (2020). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales para el Recinto Fátima en el cantón San Fernando. Ecuador (2020). Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental universidad de Cuenca. Repositorio institucional: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/35630>
- Beltrán-Dávalos, A. A., Rosero-Erazo, C., Cargua-Catagña, F., & Echeverría, M. (2019). Potencial de *Zantedeschia aethiopica* L. para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en la zona alto andina de Ecuador. *Acta Agronómica*, 68(2), 92-98. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n2.77859>
- Brix, H. (1987). Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetlands plants: the root-zone method. *Water Science and Technology*.
- Carhuaricra P. (2019). Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de santa maría del valle (Huánuco), agosto – setiembre 2018 [Tesis de Pregrado, Universidad De Huánuco]. Repositorio institucional: <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1598/Bach.%20CARHUARICRA%20FERRER,%20Poll.pdf?sequence=1>

- Carbajal, C. Ortiz, P. & Vega, A. (2017). Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicado en Tauramena, Casanare. Colombia (2017). Artículo científico. Universidad el Bosque.
- CABI. (2019). *Zantedeschia aethiopica* (calla lily). *CABI Compendium*, *CABI Compendium*, 57590. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.57590>
- Cardenas Espinoza, D. V., & Barbosa González, R. (2015). Uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial para post Tratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Jóvenes En La Ciencia*, 1(2), Article 2. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/98>
- Carvalho, A. J. P., Dordio, A. V., & Ramalho, J. P. P. (2013, junio). *A DFT Study on the Adsorption of Benzodiazepines to Clay Surfaces* [Lecture]. XXXIX Congreso Internacional de Químicos Teóricos de Expresión Latina -- QUITEL2013, Granada, Spain. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/9868?mode=full>
- Castro Leandro, Y. Y., Pérez Huachaca, W., Mariño Condori, C., & Cruz Huaranga, M. A. (2018). Eficiencia de tratamiento de las aguas domésticas mediante HAFSV con la especie *Zantedeschia aethiopica* en Viquez – Lurigancho (Perú). *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.17162/rictd.v4i2.1094>
- Cooper, P. et al. (1996) Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment, WRc, Swindon Inglaterra.
- CRYCIT (2007) Centro Regional De Investigaciones Científicas Y Tecnológicas 2007 Argentina Macrófitas, Gobierno de Mendoza, en: [www.cricyt.edu.ar](http://www.cricyt.edu.ar).
- CONAGUA (2019). Comisión nacional del agua. México 2019. Disponible en

biblioteca nacional mexicano:  
<https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>

DIGESA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Decreto Supremo N° 031-2010. Lima; Perú.

Delgadillo, O. Camacho, A. Pérez, L. & Andrade. (2010). Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Bolivia. Libro Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Obtenido de: <https://sswm.info/es/node/11943>

Damián A. & Mancha c. (2021) Efecto del humedal artificial Waylla Ichu (calamagrostis rigida). En el tratamiento de aguas servidas del barrio de Santa Ana-Huancavelica-2021. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional:  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/74446>

Domínguez Díaz, Valentina. (2022). Evaluación del desempeño operacional de humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Memoria Para Optar Al Título De Ingeniera Civil Uchile.cl. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/191823>

Fernández, J. et al. 2004 Manual de Fito depuración, Ayuntamiento de Lorca, Universidad Politécnica de Madrid, España (2004). Madrid.

GARCÍA, M. & PÉREZ L. (2000) Artículo sobre Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. Universidad de Granada España. Recuperado de: [https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)

García González, M. C. F. de P. (2016). *Estudio del crecimiento de plantas y evaluación de la capacidad de remoción de contaminantes en aguas residuales mediante microcosmos de humedales artificiales* [Tesis, Universidad Veracruzana (México)].

<http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/687555>

Guija M. y Guija R. (2019). *Metodología de la Investigación Científica*. GUIGRAF E.I.R.L.

Gómez c. (2021). Diseño de Humedales Artificiales. Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Recursos Hidráulicos y Medio Ambiente, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Bogotá 2021. Recuperado de: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1378/G%C3%B3mez%20Chavarro,%20Camilo%20lv%C3%A1n-2021.pdf?sequence=2>

Gonzales, O. & Deas, G. (2011) Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. CIH Habana. Cuba INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXXII, No. 1

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2018). *Metodología de la Investigación (Sexta ed.)*. México: Mc Graw Hill.

Kaseva, M. E. (2004). Performance of a sub-surface flow constructed wetland in polishing pre-treated wastewater-a tropical case study. *Water Research*, 38(3), 681-687. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.041>

Kivaisi, A. (2001). The Potential for Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Reuse In Developing Countries: A Review. *Ecological Engineering*, 16, 545-560. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00113-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00113-0)

Kolb, P. (1998) Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós, Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur, Universität für Bodenkultur Austria (1998).

Lara B. (1999) Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales

artificiales, Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Cataluña - Instituto Catalán de Tecnología, Barcelona España (2010).

La ruralidad: un problema y una posibilidad para la juventud. | Ayuda en Acción Perú. (2023, June 26). Ayuda En Acción Perú; La ruralidad: un problema y una posibilidad para la juventud. | Ayuda en Acción Perú. <https://ayudaenaccion.org.pe/actualidad/la-ruralidad-un-problema-y-una-posibilidad-para-la-juventud/>

Lentini, E. (2011). *Servicios de agua potable y saneamiento: lecciones de experiencias relevantes* (No. 392). Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/3851>

Lecca, R, Ruiz, E. Lizama, E. (2014) Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno (2014) Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

Lone, M. I., He, Z., Stoffella, P. J., & Yang, X. (2008). Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University. Science. B*, 9(3), 210-220. <https://doi.org/10.1631/jzus.B0710633>

Neira H. (2020) Humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales, Morropón 2020. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Repositorio institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.14095/996>

UPB (2017) Universidad Pontificia Bolivariana (2017). Un dispositivo sensorial que permite medir olores | Universidad Pontificia Bolivariana. Upb.edu.co; Universidad Pontificia Bolivariana. <https://www.upb.edu.co/es/noticias/un-dispositivo-sensorial-que-permite-medir-olores->

Mayta N. (2023). Efecto del humedal artificial de flujo subsuperficial con plantas acuáticas (*Phragmites australis*) en la biorremediación de aguas residuales, en las instituciones educativas del distrito de Amarilis Huánuco. [Tesis de Pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional: <http://repositorio.udh.edu.pe/20.500.14257/4091>

Malu (2023). Junio Huánuco es la segunda región con mayor pobreza | IPE. Instituto Peruano de Economía. <https://www.ipe.org.pe/portal/huanuco-es-la-segunda-region-con-mayor-pobreza/>

MVCS (2021). Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026 – del ministerio de vivienda construcción y saneamiento recuperado de: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2586305-plan-nacional-de-saneamiento-2022-2026>

Mena A. (2022). Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Lima 2022. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/18006>

Mongabay (2022). Nuevo informe revela la cadena de daños que provocan las aguas residuales al planeta. Recuperado de: <https://es.mongabay.com/2022/02/nuevo-informe-revela-cadena-de-danos-que-provocan-las-aguas-residuales-al-planeta/>

Metcalf y Eddie (1995) ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización volumen ii. Editorial Macgraw-hill. Disponible en: [https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_TRATAMIENTO\\_VERTIDO\\_Y\\_REUTILIZACION\\_Volumen\\_II\\_Metcalf\\_y\\_Eddie](https://www.academia.edu/45529169/INGENIERIA_DE_AGUAS_RESIDUALES_TRATAMIENTO_VERTIDO_Y_REUTILIZACION_Volumen_II_Metcalf_y_Eddie)

Otzen T. & Manterola (2017) Artículo Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. vol. 35, disponible en:

[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071795022017000100037&script=sci\\_abstract](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071795022017000100037&script=sci_abstract)

Pérez Z. (2009) Aguas Residuales: Clasificación, Características Y Composición Escuela Superior Politécnica del Litoral. Ecuador 2009. Repositorio institucional: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf>

Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology*, 56, 15-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.56.032604.144214>

Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales | SINIA. (2019, septiembre) Minam.gob.pe. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-monitoreo-calidad-efluentes-las-plantas-tratamiento-0>

SINIA (2017). Sistema Nacional de Información Ambiental. Tratamiento y reúso de aguas residuales <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/153.pdf>

Vara Prasad, M. N., & de Oliveira Freitas, H. M. (2003). Metal hyperaccumulation in plants: Biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 285-321. [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0717-34582003000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-34582003000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=en)

Villena Chávez, J. A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 304-308. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>

## COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Perez Zuñiga, J. (2024). *Eficiencia de humedales con las macrófitas zantedeschia aethiopica (cartucho) y calceolaria tripartita (zapatitos de ángel) en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p><i>¿Cuál es la eficiencia de humedales con las macrófitas <i>Zantedeschia aethiopica</i> y <i>calceolaria tripartita</i> en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024?</i></p> <p><b>PROBLEMAS ESPECIFICOS</b></p> <p><i>¿Cuál es la eficiencia de la macrófita <i>Zantedeschia aethiopica</i> en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca Huánuco 2024?</i></p> <p><i>¿Cuál es la eficiencia de la macrófita <i>Calceolaria Tripartita</i> en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zona rural en Huarichaca, Huánuco</i></p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Evaluar la eficiencia de humedales artificiales a escala experimental con las macrófitas <i>Zantedeschia aethiopica</i> (cartucho de agua) y <i>Calceolaria Tripartita</i> (zapatitos de ángel) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en zona rural en Huarichaca, Huánuco - 2024</p>	<p><b>Hipótesis General</b></p> <p><b>Ha:</b> Ha: los humedales con las macrófitas <i>Zantedeschia aethiopica</i> y <i>calceolaria tripartita</i> es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024</p> <p><b>Ho:</b> los humedales con las macrófitas <i>Zantedeschia aethiopica</i> y <i>calceolaria tripartita</i> no es eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca - Huánuco 2024</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>Ha1: La implementación de humedales artificiales con la especie <i>Zantedeschia aethiopica</i> resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.</p> <p>Ho: La implementación de humedales artificiales con la especie <i>Zantedeschia aethiopica</i> no resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.</p> <p>Ha2: La implementación de humedales</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p><i>Humedal artificial con plantas macrofitas</i></p> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <p><i>-tratamiento de aguas residuales</i></p> <p><b>Dimensiones</b></p> <p><i>Parámetros físicos</i></p> <p><i>Parámetros químicos</i></p> <p><i>Parámetros microbiológicos</i></p>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada con intervención</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Alcance:</b> experimental</p> <p><b>Diseño:</b> experimental</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD     M --&gt; X     M --&gt; Y     Y --&gt; X             </pre> </div> <p><b>Población:</b> Conformada por las aguas</p>

---

2024?

¿Cuáles son los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas?

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la eficiencia de la macrófita *Zantedeschia aethiopica* (cartucho de agua) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca, Huánuco 2024.
- Evaluar la eficiencia de la macrófita *Calceolaria tripartita* (zapatitos de ángel) en el tratamiento de las aguas residuales domésticas en Huarichaca, Huánuco 2024.
- Evaluar o medir los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca

artificiales con la especie *Calceolaria tripartita* resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

Ho: La implementación de humedales artificiales con la especie *Calceolaria tripartita* no resultará en una eficiente depuración de las aguas residuales domésticas en Huarichaca.

Ha3: los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca tiene variación significativa antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

Ho: los parámetros físicos químicos de las aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca no tiene variación significativa antes y después de la aplicación de los humedales con macrofitas.

residuales domésticas de Huarichaca.

**Muestra:**

Muestras

representativas

- 1 muestras de afluente
- 3 muestras de efluente

---

antes y  
después de la  
aplicación de  
los humedales  
con macrofitas.

---

## ANEXO 2

# RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DE PROYECTO

### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

#### Facultad de Ingeniería

#### RESOLUCIÓN N° 0842-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 23 de abril de 2024

Visto, el Oficio N° 255-2024-C-PAIA-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **“EFICIENCIA DE HUMEDALES CON LAS MACRÓFITAS *Zantedeschia aethiopica* (cartucho) Y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA ZONA RURAL DE HUARICHACA – HUÁNUCO 2024”**, presentado por el (la) Bach. **Jamil Nidzon PEREZ ZUÑIGA**.

#### CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2123-2023-D-FI-UDH, de fecha 19 de setiembre de 2023, perteneciente al Bach. **Jamil Nidzon PEREZ ZUÑIGA** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Rudy Milner Ramos Dueñas, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 255-2024-C-PAIA-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: **“EFICIENCIA DE HUMEDALES CON LAS MACRÓFITAS *Zantedeschia aethiopica* (cartucho) Y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA ZONA RURAL DE HUARICHACA – HUÁNUCO 2024”**, presentado por el (la) Bach. **Jamil Nidzon PEREZ ZUÑIGA**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente), Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguia (Secretario) y Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### SE RESUELVE:

**Artículo Primero.** - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: **“EFICIENCIA DE HUMEDALES CON LAS MACRÓFITAS *Zantedeschia aethiopica* (cartucho) Y *Calceolaria Tripartita* (zapatitos de ángel) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE LA ZONA RURAL DE HUARICHACA – HUÁNUCO 2024”**, presentado por el (la) Bach. **Jamil Nidzon PEREZ ZUÑIGA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

**Artículo Segundo.** - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

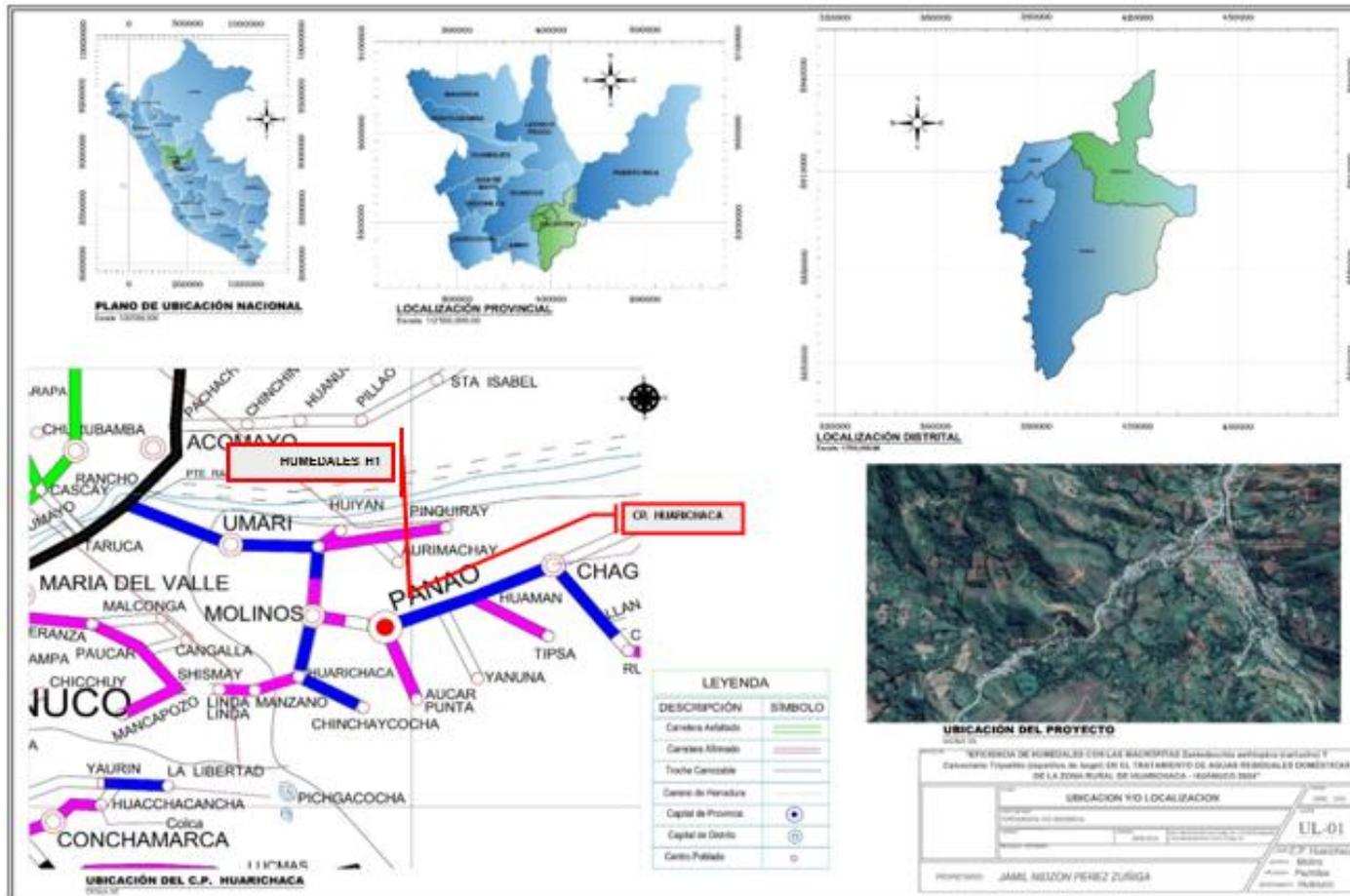
REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIA - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.  
BCR/EJML/nto.

## ANEXO 3 PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO



# ANEXO 4

## RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE HUMEDAL H1 – CADENA DE CUSTODIA FICHAS DE CAMPO

11/06

**Anexo N° 1  
UBICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO**

Nombre de EPS/Municipio: <u>MDM Molino</u>			
Nombre de PTAR: <u>HUANCAHUAY - HUANCHACA</u>			
Ubicación de PTAR: <u>HUANCAHUAY</u>			
Localidad	Distrito	Provincia	Departamento
<u>CP HUANCHACA</u>	<u>Molino</u>	<u>Pachiza</u>	<u>HUANCO</u>
<b>IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO</b>			
<b>AFLUENTE</b> <u>HUANCAHUAY</u>			
Denominación del punto de muestreo (afluente)			
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
<u>8901277</u>	<u>386786</u>	<u>18L</u>	<u>2460</u>
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)		Método de medición	
<b>EFLUENTE</b>			
Denominación del punto de muestreo (efluente)			
COORDENADAS U.T.M. (WGS84)			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
<u>8899625</u>	<u>385549</u>	<u>18L</u>	<u>2527</u>
CAUDAL DE OPERACIÓN (promedio diario)		Método de medición	
<u>0,2 l/s</u>		<u>Voluntario</u>	
Datos del GPS (marca, modelo, número de serie, precisión del equipo)			
<u>GPS - GARMIN</u>			

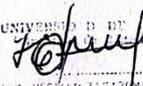
**En páginas aparte:**

- Croquis de ubicación del punto de monitoreo 1.  
2 fotografías del punto de monitoreo 1 (tomadas a 10m de distancia del punto de monitoreo y la segunda más cercana al mismo).
- Croquis de ubicación del punto de monitoreo 2.  
2 fotografías del punto de monitoreo 2 (tomadas a 10m de distancia del punto de monitoreo y la segunda más cercana al mismo).
- Flujograma de procesos de tratamiento con la información básica de cada uno de ellos.
- Caudal medio anual de la PTAR, registrado según la frecuencia indicada en el anexo II.

Para el reporte inicial y en caso de ausencia de registros según la frecuencia indicada en el Anexo N° II, indicar el caudal promedio anual sustentado con resultados de medición según otra frecuencia o con otro sustento técnico, por ejemplo, información del diseño de la PTAR. Indicar frecuencia de monitoreo aplicable según el Anexo N° II.

11 ..... de Junio del 2024  
Nombres y apellidos  
Responsable de la PTAR

18

Recibido   
UNIVERSIDAD DE HUANCO  
ING. BERNABÉ MIRAVALL  
DIRECTOR

Anexo N° VI  
REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA

Nombre de la PTAR:												
Muestra No.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido				Observaciones
								AVG	DBO	DQO	SST	
M3-K1-3		X	11-06-2024	7:00 a.m.	VIDRIO PLASTICO	1L	REFRIGERACION	X	X	X	X	
M3-K2-3		X	11/06-2024	7:15 a.m.	VIDRIO PLASTICO	1L	REFRIGERACION	X	X	X	X	
M2-K2-A	X		11/06/2024	7:30 a.m.	VIDRIO PLASTICO	1L	REFRIGERACION	X	X	X	X	
Hora de entrega al medio de transporte												

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio			
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Fecha
			SERRA SERRA			SERRA SERRA						

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOPI pueden utilizar su propio formato de Cadena de Custodia.

UNIVERSIDAD D. P. HUANUCO  
Instituto de Biotecnología  
ING. IRMA ROSA MIRVAL  
DIRECTOR

Anexo N° IV  
REGISTRO DE DATOS DE CAMPO

Nombre de la PTAR:				
AFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal afluente (*)
11/06/2024	7:00 AM	6.02	16.6°C	0.1 L/S
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
EFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal efluente (*)
11/06/2024	7:30 AM	5.9	16°C	0.2 L/S
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

(\*) Caudal de afluente y efluente en el momento del monitoreo

UNIVERSIDAD DEL HUASICO  
Instituto de Tecnología  
ING. HERNÁNDEZ MORAVAL  
DIRECTOR

11 ..... de Julio del 2024

Nombres y apellidos  
Responsable de Monitoreo

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOP pueden utilizar su propio formato para el registro de datos de campo.

Anexo N° VI  
REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA

Nombre de la PTAR:										Observaciones										
Muestra No.	Afuente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido													
							AVG	DBO	DQO	SST		CTT								
H4-H1-4	X	20-06-2021	7:20 am	Plástico	1L	R	X	X	X	X										
H4-H2-4	X	20-06-2021	7:25 am	Plástico	1L	R	X	X	X	X										
M																				
Hora de entrega al medio de transporte																				

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio					
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Fecha

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOPI pueden utilizar su propio formato de Cadena de Custodia.

UNIVERSIDAD DE HUASUCO  
Instituto de Investigación y  
Desarrollo Tecnológico  
ING. HILDA ZOLA JIRAYAL  
DIRECTOR

Anexo N° IV  
REGISTRO DE DATOS DE CAMPO

Nombre de la PTAR:				
AFLUENTE				
Kura Kura Runy				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal afluente (*)
20/06/2024	7:00 am	6.75	17.7	0,12 l/s
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				
EFLUENTE				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal efluente (*)
20-06-2024	7:20 am			0,1 l/s
Eventuales observaciones al punto de monitoreo				
Características del agua residual				

(\*) Caudal de afluente y efluente en el momento del monitoreo

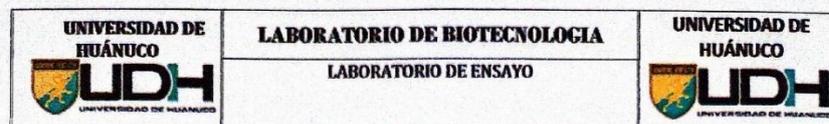
20 de ..... de JUNIO del 2024

Nombres y apellidos  
Responsable de Monitoreo

Nota: Los laboratorios acreditados ante INDECOP pueden utilizar su propio formato para el registro de datos de campo.

# ANEXO 5

## RESULTADOS DE ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DE HUMEDAL H2 – CADENA DE CUSTODIA



### INFORME DE ENSAYO Nº 6- 2024

**Solicitante:** alumno de Ingeniería Ambiental Jamil Perez Zuñiga  
**Proyecto de tesis:** Eficiencia de humedales con las macrófitas cartucho y zapatitos de angel en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca-Huánuco 2024  
**Tipo de muestra:** agua residual  
**Cantidad de muestras:** 2 frascos de 600 ml c/u  
**Fecha y hora de muestreo:** 8/5/2024  
**Procedencia de las muestras:** Huancarumi (Huarichaca)  
**Ubicación del punto de muestreo:** se indica en resultados  
**Procedimiento de muestreo:** muestreado por el solicitante  
**Lugar y recepción de la muestra:** Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101  
**Fecha de recepción de la muestra:** 8/5/2024  
**Estado y condiciones de la muestra:** Conservado  
**Fecha de ejecución del ensayo:** Del 8/5/2024 al 13/5/2024

#### Resultados:

<b>Punto 1:</b> ubicación agua residual de Huarichaca-Huancarumi, latitud: -9.93438 Longitud: -76.03271, altitud: 2460 msnm	
<b>Propiedades Físico Químicas:</b>	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	290
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	126
pH	6.5
Solidos suspendidos totales, mg/L	50
Aceites y grasas, mg/L	687
Oxígeno disuelto, mg/L	0.4
<b>Propiedades Microbiológicas:</b>	
Coliformes totales, bacterias/ml	>2400 bacterias/ml

**Informe autorizado por:**

Ing. Herman Tarazona Mirabal  
 C.I.P. 14643  
 Director Técnico del Laboratorio

**Fecha de emisión:** 14/05/2024

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab\_biotecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

**LBT-FGR-63**

**Pag. 1de1**

**INFORME DE ENSAYO N° 8- 2024**

Solicitante: alumno de Ingeniería Ambiental Jamil Perez Zuñiga  
 Proyecto de tesis: Eficiencia de humedales con las macrófitas cartucho y zapatitos de angel en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca-Huánuco 2024  
 Tipo de muestra: agua residual tratada en humedales H1, H2  
 Cantidad de muestras: 2 frascos de 600 ml c/u  
 Fecha y hora de muestreo: 5/6/2024  
 Procedencia de las muestras: Humedales ubicados en Huancarumi (Huarichaca)  
 Ubicación del punto de muestreo: se indica en resultados  
 Procedimiento de muestreo: muestreado por el solicitante  
 Lugar y recepción de la muestra: Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101  
 Fecha de recepción de la muestra: 5/6/2024  
 Estado y condiciones de la muestra: Conservado  
 Fecha de ejecución del ensayo: Del 5/6/2024 al 11/6/2024

**Resultados:**

Punto 1: Humedal 1, ubicación: N385549, E 8899625	
Propiedades Físico Químicas:	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	110
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	90
pH	6.585
Sólidos suspendidos totales, mg/L	35
Aceites y grasas, mg/L	8
Oxígeno disuelto, mg/L	1.74
Propiedades Microbiológicas:	
Coliformes totales, bacterias/ml	150 bacterias/ml

Punto 2: Humedal 2, ubicación: : N385549, E 8899625	
Propiedades Físico Químicas:	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	105
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	38
pH	6.725
Sólidos suspendidos totales, mg/L	16
Aceites y grasas, mg/L	12
Oxígeno disuelto, mg/L	3.28
Propiedades Microbiológicas:	
Coliformes totales, bacterias/ml	110 bacterias/ml

**Informe autorizado por:**

Ing. Herman Tarazona Mirabal  
 C.I.F. 14843  
 Director Técnico del Laboratorio

**Fecha de emisión:** 11/06/2024

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab\_biotecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

**LBT-FGR-63**

**Pag. 1de1**

 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO	<b>LABORATORIO DE BIOTECNOLOGIA</b> LABORATORIO DE ENSAYO	 UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
----------------------------	--	----------------------------

### INFORME DE ENSAYO N° 7- 2024

**Solicitante:** alumno de Ingeniería Ambiental Jamil Perez Zuñiga  
**Proyecto de tesis:** Eficiencia de humedales con las macrófitas cartucho y zapatitos de angel en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca-Huánuco 2024  
**Tipo de muestra:** agua residual tratada en humedales H1, H2  
**Cantidad de muestras:** 2 frascos de 600 ml c/u  
**Fecha y hora de muestreo:** 22/5/2024  
**Procedencia de las muestras:** Humedales ubicados en Huancarumi (Huarichaca)  
**Ubicación del punto de muestreo:** se indica en resultados  
**Procedimiento de muestreo:** muestreado por el solicitante  
**Lugar y recepción de la muestra:** Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101  
**Fecha de recepción de la muestra:** 22/5/2024  
**Estado y condiciones de la muestra:** Conservado  
**Fecha de ejecución del ensayo:** Del 22/5/2024 al 28/5/2024

### Resultados:

<b>Punto 1: Humedal 1, ubicación: N385549, E 8899625</b>	
<b>Propiedades Físico Químicas:</b>	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	60
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	19
pH	6.015
Sólidos suspendidos totales, mg/L	40
Aceites y grasas, mg/L	4
Oxígeno disuelto, mg/L	5.0
<b>Propiedades Microbiológicas:</b>	
Coliformes totales, bacterias/ml	9 bacterias/ml

<b>Punto 2: Humedal 2, ubicación: N385549, E 8899625</b>	
<b>Propiedades Físico Químicas:</b>	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	68
pH	6.378
Sólidos suspendidos totales	28
Aceites y grasas, mg/L	3
Oxígeno disuelto, mg/L	4.0
<b>Propiedades Microbiológicas:</b>	
Coliformes totales, bacterias/ml	39 bacterias/ml

### Informe autorizado por:

**Ing. Herman Tarazona Mirabal**  
C.I.P. 14643  
Director Técnico del Laboratorio

**Fecha de emisión:** 03/06/2024

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab\_biotecnologia@gmail.edu.pe

El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

**INFORME DE ENSAYO N° 9 2024**

**Solicitante:** alumno de Ingeniería Ambiental Jamil Perez Zuñiga  
**Proyecto de tesis:** Eficiencia de humedales con las macrófitas cartucho y zapatitos de angel en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la zona rural de Huarichaca-Huánuco 2024  
**Tipo de muestra:** agua residual y agua residual tratada en humedales H1, H2  
**Cantidad de muestras:** 3 frascos de 1000 ml c/u  
**Fecha y hora de muestreo:** 12/6/2024  
**Procedencia de las muestras:** Humedales ubicados en Huancarumi (Huarichaca)  
**Ubicación del punto de muestreo:** se indica en resultados  
**Procedimiento de muestreo:** muestreado por el solicitante  
**Lugar y recepción de la muestra:** Ciudad Universitaria La Esperanza – Edificio 3-Lab 101  
**Fecha de recepción de la muestra:** 12/6/2024  
**Estado y condiciones de la muestra:** Conservado  
**Fecha de ejecución del ensayo:** Del 12/6/2024 al 13/6/2024

**Resultados:**

<b>Punto 1: Humedal 1, ubicación: N385549, E 8899625</b>	
<b>Propiedades Físico Químicas:</b>	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	90
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	30
pH	6.623
Sólidos suspendidos totales, mg/L	30
Aceites y grasas, mg/L	6
Oxígeno disuelto, mg/L	2.5
<b>Propiedades Microbiológicas:</b>	
Coliformes totales, bacterias/ml	120

<b>Punto 2: Humedal 2, ubicación: : N385549, E 8899625</b>	
<b>Propiedades Físico Químicas:</b>	
Demanda Química de oxígeno, DQO, mg/L	80
Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO, mg/L	28
pH	6.821
Sólidos suspendidos totales, mg/L	12
Aceites y grasas, mg/L	4
Oxígeno disuelto, mg/L	3.5
<b>Propiedades Microbiológicas:</b>	
Coliformes totales, bacterias/ml	80

**Informe autorizado por:**

**Ing. Herman Tarazona Mirabal**  
 C.I.P. 14843  
 Director Técnico del Laboratorio

**Fecha de emisión:** 13/06/2024

Carretera Huánuco Tingo María Km. 8

Email: lab\_biotecnologia@gmail.edu.pe

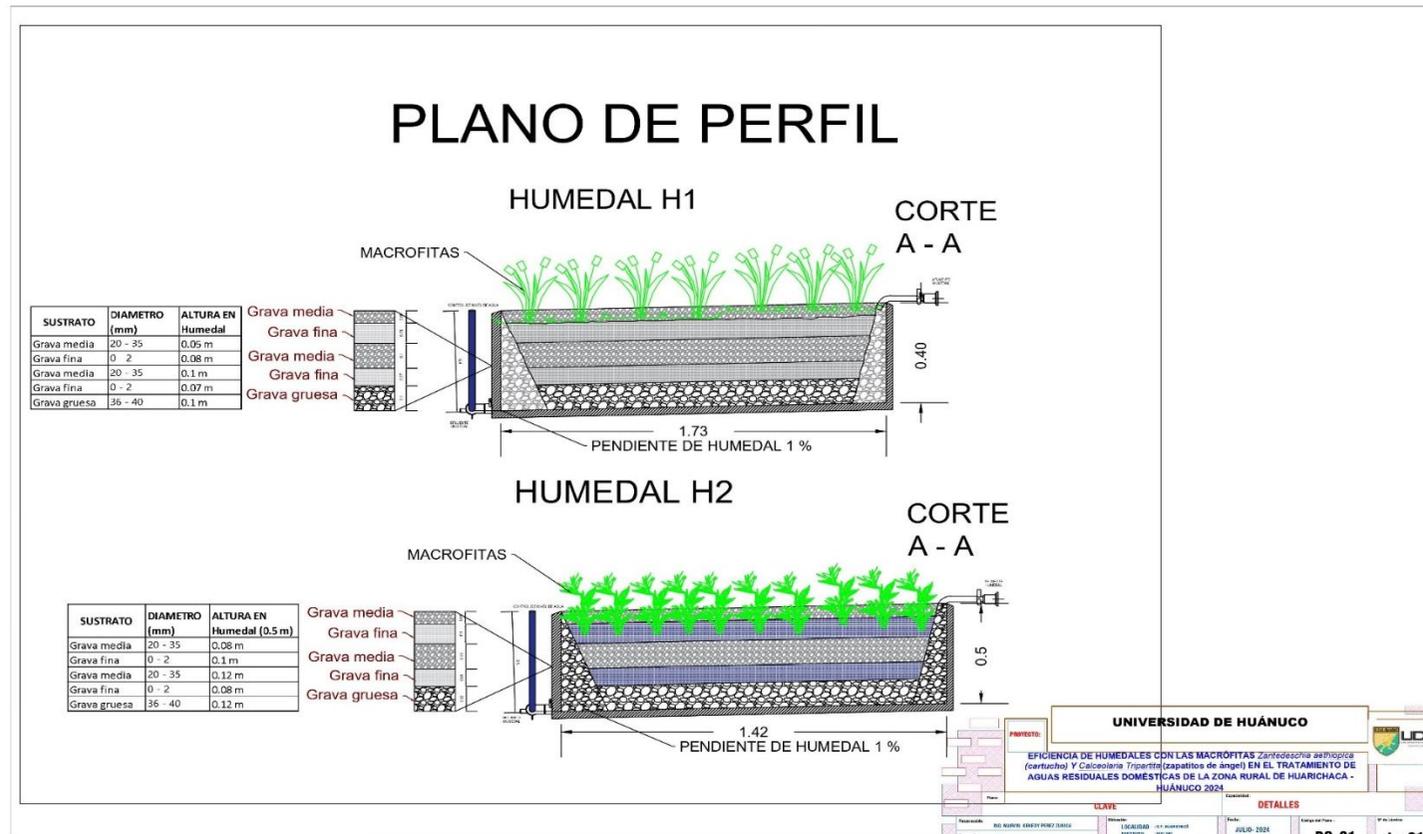
El presente informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente excepto con la aprobación por escrito del LBT-UDH. Solamente originales son válidos y el LBT-UDH no se responsabiliza por las copias. Estos resultados se refieren únicamente a las muestras recibidas por el laboratorio

**LBT-FGR-63**

**Pag. 1de1**

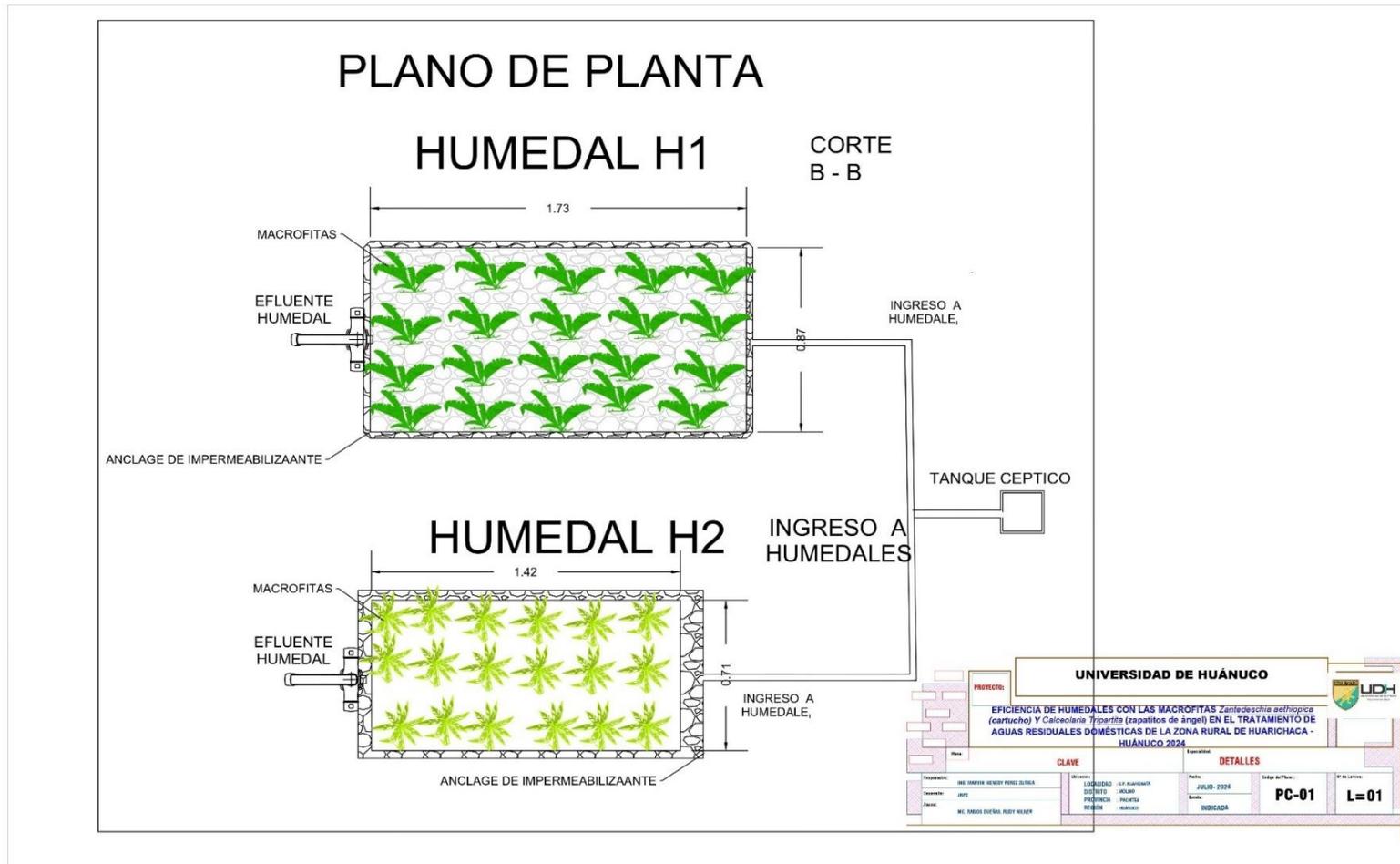
## ANEXO 6

### ESQUEMA DE HUMEDALES H1 Y H2 PLANO DE PERFIL



## ANEXO 6

### ESQUEMA DE HUMEDALES H1 Y H2 - PLANO DE PLANTA



## ANEXO 7

### PANEL FOTOGRÁFICO DE CONSTRUCCIÓN DE HUMEDAL



Área de humedal excavado H1 y H2



Instalación de tuberías en los humedales H1 y H2



Prueba de impermeabilidad con membrana impermeabilizante de plástico



Tubería e impermeabilizante instalado



Piedra chancada de 2 pulgadas para humedal



Selección de sustratos con diferentes capas; área fina, piedra y piedra chancada



Selección y colocación de sustrato fino y piedra chancada



Selección de plantas y medición de raíces



medición de raíz de las macrotifas



Sembrado de plantas zapatitos de ángel en humedal H1



Sembrado de plantas cartucho en humedal H2

**ANEXO 8**  
**PANEL FOTOGRÁFICO DE MUESTREO DE AFLUENTE Y**  
**EFLUENTE**



Toma de muestra en humedales y etiquetado



Rellenado de ficha de campo y conservación demuestra



Medición de parámetros in-situ



Muestreo de agua residual

## ANEXO 9

### VISITA DE ASESOR A CAMPO



Verificación de planos de diseño

**ANEXO 10**  
**HUMEDALES H1 Y H2 VISTA HORIZONTAL**



Vista horizontal de humedal h2



Vista horizontal de humedal h1