UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Tesis

Capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay - Apurímac,2023

Asesor:

Mg. Salas Peña, Vanesa

Autores:

Carpio Melendez, Ingrid Camila

Fernandez Zamalloa, Rosa Luz

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay - Apurímac - Perú

Acta de Sustentación

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 014

En la ciudad de **Abancay**, a los **28 días del mes de enero del 2025, siendo las 8:30 a.m. horas**, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 005-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 20 de enero del 2025 de la Escuela Profesional de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane
Dictaminante :	Mg. Sierra Puga Javier
Replicante :	Mg. Jessica Alvarado Ramos

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:
"Capacidad Fitorremediadora del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac, 2023"

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: **Carpio Melendez, Ingrid Camila**
(Apellidos y Nombres)

Br.: **Fernandez Zamalloa Rosa Luz**
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: **Mayoría**
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)	Firma
Br. **Carpio Melendez, Ingrid Camila**	11	
Br. **Fernandez Zamalloa Rosa Luz**	11	

Siendo las 10:00 a.m. horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente : Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Dictaminante : Mg. Sierra Puga Javier
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

Replicante : Mg. Alvarado Ramos Jessica
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres) (Firma)

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

Reporte de similitud

Capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay - Apurímac,2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	20%	7%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.biodiversidadcanarias.es Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Yilda Aranza López Pérez. "Uso potencial de la especie vegetal Eichhornia crassipes del humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos", Agua, Saneamiento & Ambiente, 2023 Publicación	<1%
8	pagos.escalae.org Fuente de Internet	<1%
9	purl.org Fuente de Internet	<1%
	repository.unad.edu.co	

Metadatos

Datos del Autor 1		
Apellidos y nombres	:	Carpio Melendez Ingrid Camila
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	76506907
URL ORCID	:	0009-0004-2074-5840
Datos del Autor 2		
Apellidos y nombres		Fernandez Zamalloa Rosa Luz
Tipo de Documento de Identidad		DNI
Número de Documento de Identidad		74203565
URL ORCID		0009-0007-7283-2593
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Salas Peña Vanesa
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	70144718
URL ORCID	:	0000-0003-3734-6278
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	2023-2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	20%
URL DE OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00

Dedicatoria

Dedicamos este logro a Dios, a nuestros padres y familia quienes nos motivaron a no rendirnos en el transcurso de la investigación, a cada uno de los docentes que nos guiaron en la adquisición de conocimientos y formación académica.

A nuestra Asesora Mg. Vanesa Salas Peña por motivarnos, guiarnos y apoyarnos durante este camino.

Así también dedicar este logro a esos seres especiales en nuestros corazones, mis pequeños de 4 patas y muy en especial a mi señorita Abril.

Agradecimiento

Agradecemos primeramente a Dios, a nuestros padres y familia por confiar y apoyarnos durante la etapa universitaria, a nuestros docentes que fueron parte del proceso de formación profesional, quien cada uno de ellos supo dejarnos buenos consejos y enseñanzas que son muy útiles en el ámbito laboral.

A todos los docentes que durante el proceso de elaboración del trabajo nos ayudaron a mejorar.

A nuestra asesora de tesis por siempre tener un buen trato ante nuestras falencias, ayudarnos a mejorar, fortalecer nuestros conocimientos y técnica.

Resumen

La investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, realizando humedales artificiales de tipo flujo subsuperficial horizontal en 4 viviendas donde 3 usan la planta y una sin el uso de ella.

Se establecieron puntos de monitoreo para análisis fisicoquímico y microbiológico, considerando como muestra 800 L de aguas residuales domésticas monitoreando antes y después del tratamiento. La especie fue recolectada de viveros provenientes de la ciudad de Abancay y reproducidas bajo control, una vez cumplido el tamaño establecido (raíz + planta) fueron introducidos a los humedales artificiales en un periodo de adaptación de 10 días.

Al finalizar el tratamiento se obtuvo la siguiente variación de los resultados en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de: SST (mg/L), conductividad eléctrica (µS/cm), DQO (mg/L), DBO_5 (mg/L), turbidez (NTU), pH, coliformes termo tolerantes y Escherichia coli (NMP/100 ml). En T1 (67, 455, 20,46.9, 26.6, 6.6 ,12204 y <1.8), en T2 (23, 590.3, 30, 38.4, 25.8, 6.9, 1734 y 14), en T3 (46, 779.7, 20, 38.4, 20.2, 7.1, 170 y <1.8) y en C (270, 2800, 110, 187.7, 48.6, 7.7, 2550 y 927). Los resultados obtenidos del análisis después del tratamiento del agua evidencian diferencias significativas.

Se concluye y demuestra la eficacia del jacinto de agua en el tratamiento de aguas residuales domésticas, con porcentajes de remoción de: SST 78.50%, conductividad eléctrica 65.27%, DBO_5 66.67%, DQO 67.18%, turbidez 44.40%, coliformes termo tolerantes 99% y Escherichia coli 99.9%.

Palabras claves: humedal artificial, agua residual doméstica y jacinto de agua.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the phytoremediation capacity of water hyacinth (Eichhornia crassipes) through artificial wetlands in domestic wastewater from Pachachaca Baja, creating horizontal subsurface flow artificial wetlands in 4 homes where 3 use the plant and one does not.

Monitoring points were established for physicochemical and microbiological analysis, considering 800 L of domestic wastewater as a sample, monitoring before and after treatment. The species was collected from nurseries from the city of Abancay and reproduced under control, once the established size was reached (root + plant) they were introduced to the artificial wetlands in an adaptation period of 10 days.

At the end of the treatment, the following variation in the results was obtained in physicochemical and microbiological parameters: TSS (mg/L), electrical conductivity (µS/cm), COD (mg/L), BOD5 (mg/L), turbidity (NTU), pH, thermotolerant coliforms and Escherichia coli (NMP/100 ml). In T1 (67, 455, 20,46.9, 26.6, 6.6 ,12204 and <1.8), in T2 (23, 590.3, 30, 38.4, 25.8, 6.9, 1734 and 14), in T3 (46, 779.7, 20, 38.4, 20.2, 7.1, 170 and <1.8) and in C (270, 2800, 110, 187.7, 48.6, 7.7, 2550 and 927). The results obtained from the analysis after water treatment show significant differences. The effectiveness of water hyacinth in the treatment of domestic wastewater is concluded and demonstrated, with removal percentages of: TSS 78.50%, electrical conductivity 65.27%, BOD5 66.67%, COD 67.18%, turbidity 44.40%, thermo-tolerant coliforms 99% and Escherichia coli 99.9%.

Keywords: artificial wetland, domestic wastewater and water hyacinth.

Índice

Portada……..…….i

Acta de Sustentación ……...ii

Reporte de similitud…….iii

Metadatos……..iv

Dedicatoria……v

Agradecimiento……vi

Resumen……..vii

Abstract y keywords……...…viii

Índice de tablas……...……xii

Índice de figuras……..……..xiv

I.Introducción……..…..…17

II. Planteamiento del problema……..…..…20

2.1. Descripción y formulación del problema……...…22

2.2. Objetivos…….…….23

2.2.1. Objetivo General……..……..……23

2.2.2. Objetivos Específicos …….……..23

2.3. Justificación e importancia…….……...…24

2.4. Hipótesis…….…….26

2.5. Variables…….…….27

III. Marco teórico…….28

3.1. Antecedentes…….28

3.2. Bases teóricas…….……34

3.2.1. Aguas residuales……..……34

3.2.1.1. Composición de las aguas residuales……...…...34

3.2.2. Aguas residuales de uso doméstico……35

3.2.3. Tipos de aguas residuales……35

3.2.4. Caracterización de las aguas residuales……36

3.2.4.1. Características físicas ……36

3.2.4.2. Características químicas……38

3.2.4.3. Caracteristicas Microbiológicas y parasitológicas……40

3.2.5. Tratamientos de aguas residuales domésticas……41

3.2.5.1. Clasificación de los tratamientos de aguas residuales……41

3.2.5.2. Técnicas alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas……42

3.2.6. Los Humedales……42

3.2.6.1. Humedales naturales……42

3.2.6.2. Humedales artificiales ……43

3.2.7. Tipos de humedales artificiales……44

3.2.7.1. Sistema de agua superficial libre (SASL)……44

3.2.7.2. Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS)……45

3.2.8. Diseño y estructura de los humedales……47

3.2.9. Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales……47

3.2.10. Jacinto de Agua……48

3.2.11. Fitorremediación……52

3.2.12. Métodos de la fitorremediación……53

3.2.13. Tipos de fitorremediación……53

3.2.14. Capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua *(Eichhornia crassipes)*……55

3.2.15. ECA – Estándar de Calidad Ambienta……55

3.3. Definición de términos……57

IV. Metodología……59

4.1. Tipo y nivel de investigación……59

4.2. Ámbito temporal y espacial……..……..59

4.3. Población y muestra.…….....…...61

4.4. Instrumentos…….……...62

4.5. Procedimientos…….……..65

4.6. Análisis de datos……..……..……96

4.7. Consideraciones éticas……...106

V. Resultados y discusión……...107

5.1. Resultados…….……107

5.2. Discusión de resultados…….…….121

VI. Conclusiones……..……124

VII. Recomendaciones……..……..125

VIII. Referencias…….……..126

IX. Anexos…….143

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....27

Tabla 2 Composición de las aguas residuales. 34

Tabla 3 Diseño y estructura de un humedal artificial 47

Tabla 4 Clasificación taxonómica del *Eichhornia crassipes*.....49

Tabla 5 Composición química del *Eichhornia crassipes.* 51

Tabla 6 Categoría 03: Riego de vegetales y bebida de animales.....56

Tabla 7 Tabla de técnicas e instrumento de recolección de datos.....63

Tabla 8 Número de viviendas para la construcción del humedal.....65

Tabla 9 Caudal de viviendas para la construcción del humedal 65

Tabla 10 Diseño y construcción del humedal artificial denominado T1.....69

Tabla 11 Diseño y estructura del humedal artificial denominado T2.....72

Tabla 12 Diseño y estructura del humedal artificial denominado T3.....75

Tabla 13 Diseño y estructura del sistema de pozos denominado control 78

Tabla 14 Número de plantas por humedal 87

Tabla 15 Datos de temperatura.....96

Tabla 16 Datos de pH (antes y después).....97

Tabla 17 Datos de turbidez (antes y después) 98

Tabla 18 Datos de solidos disueltos totales (antes y después) 99

Tabla 19 Resultados de solidos suspendidos totales (después) 100

Tabla 20 Resultados de conductividad eléctrica.....101

Tabla 21 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno 102

Tabla 22 Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno 103

Tabla 23 Sistema de humedal realizado con vegetación denominado: T1 107

Tabla 24 Sistema de humedal realizado con vegetación denominado: T2 108

Tabla 25 Sistema de humedal realizado con vegetación denominado: T3 109

Tabla 26 Sistema realizado sin vegetación denominado: control (C) 110

Tabla 27 Porcentajes de remoción del sistema de humedales artificiales de las 4 viviendas.....111

Tabla 28 Evaluación de valores de T1 con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.....113

Tabla 29 Evaluación de valores de T2 con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.....114

Tabla 30 Evaluación de valores de T3 con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.....115

Tabla 31 Evaluación de valores de control con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.....116

Tabla 32 Evaluación de valores de T1 con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.....117

Tabla 33 Evaluación de valores de T2 con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.....118

Tabla 34 Evaluación de valores de T3 con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.....119

Tabla 35 Evaluación de valores de Control con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.....120

Índice de figuras

Figura 1 Humedal artificial. 43

Figura 2 Sistema de agua superficial libre (SASL) 45

Figura 3 Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS).....46

Figura 4 Plantas comunes de un humedal artificial. 48

Figura 5 Jacinto de agua.....49

Figura 6 Tipos de fitorremediación.....54

Figura 7 Delimitación de la zona de estudio de Pachachaca baja.....60

Figura 8 Construcción del humedal artificial.....66

Figura 9 Ubicación de vivienda denominda T1.....67

Figura 10 Diseño y medición de la vivienda denominada T1.....67

Figura 11 Dimensiones del humedal artificial denominado T1.....68

Figura 12 Ubicación de vivienda denominada T2.....70

Figura 13 Diseño y medición de la vivienda denominada T2.....70

Figura 14 Dimensiones del humedal artificial denominado T2.....71

Figura 15 Ubicación de vivienda denominada T3.....73

Figura 16 Diseño y medición de la vivienda denominada T3.....73

Figura 17 Dimensiones del humedal artificial denominado T3.....74

Figura 18 Ubicación de vivienda denominada control 76

Figura 19 Diseño y medición de la vivienda denominada control 76

Figura 20 Dimensiones del humedal artificial denominado control 77

Figura 21 Excavación y graduación del humedal artificial denominada T1.....79

Figura 22 Excavación y graduación del humedal artificial denominada T2.....79

Figura 23 Excavación y graduación del humedal artificial denominada T3.....79

Figura 24 Excavación y graduación del humedal artificial denominado C 80

Figura 25 Colocación del plástico polietileno doble cara azul y negro 80

Figura 26 Distribución de gravas gruesas y finas en humedal artificial de 1x1 en el tratamiento secundario……..81

Figura 27 Distribución de gravas gruesas y finas en humedal artificial de 2x1 en el tratamiento secundario……..82

Figura 28 Profundidad de la grava en el humedal artificial…….82

Figura 29 Adecuación del humedal artificial con grava 83

Figura 30 Crecimiento de los jacintos de agua bebe en 2 meses.....84

Figura 31 Reproducción del jacinto de agua por estolones 84

Figura 32 Tamaño de la raíz del jacinto de agua a los 2 meses.....85

Figura 33 Tamaño de las plantas de jacinto de agua en 3 meses aptos para el uso en los humedales artificiales 85

Figura 34 Características para la selección del jacinto de agua 86

Figura 35 Distribución de plantas en el humedal……..87

Figura 36 Funcionamiento del humedal artificial denominado T1.....88

Figura 37 Funcionamiento del humedal artificial denominado T2.....88

Figura 38 Funcionamiento del humedal artificial denominado T3.....89

Figura 39 Funcionamiento del humedal artificial denominado C 89

Figura 40 Representación del humedal artificial.....90

Figura 41 Materiales de muestreo de parámetros fisicoquímicos……..……..…91

Figura 42 Materiales de muestreo de parámetros fisicoquímicos……..…….…91

Figura 43 Materiales de muestreo de parámetros microbiológicos y parasitológicos…...92

Figura 44 Muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos……..…93

Figura 45 Rotulado y etiquetado de muestras de parámetros fisicoquímicos……..…93

Figura 46 Rotulado y etiquetado de muestras de parámetros microbiológicos……..……..…94

Figura 47Conservación y traslado de muestras de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos……..…...…..94

Figura 48 Tratamientos con y sin plantas.....95

Figura 49 Variación de temperatura.....96

Figura 50 Variación del pH.....97

Figura 51 Variación de turbidez 98

Figura 52 Variación de sólidos disueltos totales.....99

Figura 53 Variación de sólidos suspendidos totales.....100

Figura 54 Variación de conductividad eléctrica 101

Figura 55 Variación de DBO5 102

Figura 56 Variación de DQO.....103

Figura 57 Variación de Coliformes termo tolerantes.....104

Figura 58 Variación de Escherichia coli 105

I. Introducción

Un subproducto inevitable de las actividades diarias en el hogar son las aguas residuales domésticas cuya composición química y biológica significan problemas serios a la salud y al ambiente, la inadecuada gestión y disposición final contamina ríos u otras fuentes hídricas. Ante ello se presenta a la macrófita *Eichhornia crassipes* como fitorremediadora de aguas residuales domésticas.

El planteamiento del problema muestra el enfoque de investigación describiendo la situación a nivel global, nacional, regional y local conociendo las causas y consecuencias que lleva el inadecuado tratamiento de las aguas residuales domésticas centrando la atención en la situación de 20 viviendas en Pachachaca baja.

Se detalla la formulación y descripción del problema, determinando el objetivo general que es evaluar la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023. Realizando la construcción de la hipótesis, estableciendo la justificación e importancia de la investigación en la cual resalta las ventajas a nivel económico, ambiental y socio ambiental de la aplicación de los humedales artificiales con jacinto de agua en las aguas residuales domésticas generando conocimiento y minimizando el impacto ambiental. Así también se reconoce las variables como: variable independiente (humedal artificial de jacinto de agua) y la variable dependiente (aguas residuales domésticas) cada una con definiciones, dimensiones, indicadores y escalas de medida.

El marco teórico contiene el sustento y respaldo para la investigación en el cual integra antecedentes en 3 niveles: a nivel internacional Noruega y Fernandez (2019) evalúa el tratamiento de las aguas residuales domésticas con el jacinto de agua en dos tiempos de retención hidráulica, resultando que a los 12 días el porcentaje de remoción de contaminantes es elevado y significativo. A nivel nacional Chang y Huamán (2019) evalúa la eficiencia del jacinto y lechuga de agua en humedales artificiales, los resultados a los 10

días de tratamiento demuestran que el jacinto tuvo mejores y elevados porcentajes de remoción a diferencia de la lechuga de agua. A nivel local Triveño (2016) evalúa la influencia del rio Mariño sobre el rio Pachachaca demostrando mediante análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que la contaminación es frecuente y constante por las aguas residuales domésticas.

En las bases teóricas se encuentran los conceptos que se relacionan con indicadores y dimensiones de las variables como: humedal artificial, agua residual doméstica, parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y jacinto de agua desglosando el significado y la importancia de cada tema relacionado con la investigación. Así también las normativas como el ECA para riego no restringido y los LMP para efluentes de PTAR que son importantes para demostrar la capacidad y eficiencia del jacinto de agua en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

La metodología es de tipo aplicada y nivel explicativo, el ámbito espacial asignado es Pachachaca baja y el ámbito temporal fue de 3 meses a partir de la aprobación del proyecto de tesis del año 2023, la muestra fueron 800 L/día de aguas residuales domésticas provenientes de 4 viviendas con humedales artificiales y la población son 4800 L/ día de aguas residuales domésticas generadas por 20 viviendas de Pachachaca baja. Así también se seleccionaron instrumentos como: fichas de monitoreo de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y jacinto de agua. Las técnicas usadas son: la experimentación y observación participativa, se desarrolló la descripción de los procedimientos realizados, muestreos, análisis de datos obtenidos y consideraciones éticas aplicadas durante el desarrollo del trabajo.

Los resultados de la investigación incluyen datos estadísticos, textuales y gráficos, en los cuales se analizan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, antes y después del tratamiento en el periodo establecido de 10 días. Al finalizar la evaluación de los 4 humedales y la variación de sus parámetros se obtiene los porcentajes de remoción los cuales se comparan en el grupo denominado T1, T2 y T3 (con vegetación)

y control (sin vegetación) evidenciando la capacidad del jacinto de agua para reducir los contaminantes de las aguas residuales domésticas.

Así también los resultados obtenidos son comparados con los LMP de efluentes de PTAR y con los ECA para riego no restringido comprobando su posible uso en el riego de cultivos de Pachachaca baja. De esta forma se comprueba la validez de las hipótesis desarrollando la discusión en relación con la investigación ejecutada y tomando en mención a los autores de los antecedentes de investigación.

Y así concluimos que la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) demostró ser eficiente y realizo un correcto tratamiento a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023. Por último, se dan recomendaciones como características del tamaño de la planta para poder tener un adecuado porcentaje de remoción de contaminantes y así aportar conocimiento para futuras investigaciones.

II. Planteamiento del problema

Las aguas residuales domésticas proceden de orina y heces humanas, aseo personal, cocina y limpieza del hogar. Suele estar compuesta de gran cantidad de microorganismos y materia orgánica como: grasas, lejía jabones y detergentes.

Se estima que a nivel global el 80% de las aguas residuales domésticas y municipales se depositan al ambiente sin ningún tratamiento previo, cuyos efectos son nocivos al ambiente y salud humana. Qadir et al. (2020) menciona que alrededor de 389.00 millones de m^3 de agua podrían recuperarse a partir de la cantidad de agua residual generada anualmente.

En el Perú, la gestión de las aguas residuales es inadecuada, a pesar que es uno de los países con más reservas de agua dulce del mundo ocupando el octavo lugar, pero la situación de los servicios de saneamiento y agua aún son un gran problema. El 70% de aguas residuales no poseen tratamiento previo, lo que dificulta alcanzar procesos como el ciclo del agua. Según el Plan Nacional de Saneamiento Urbano y Rural (2006-2015) en el país se ejecutó el 30% en tratamiento de aguas residuales.

En Abancay, Sequeiros (2019) advierte que cientos de litros de aguas residuales sin tratamiento (desagüe) se vierten diariamente al río Pachachaca, sin que las autoridades y funcionarios de turno hayan solucionado este crítico problema que se arrastra más de 30 años. En una entrevista de RPP (2012) los pobladores mencionan que debido a fallas y registro de rotura de tuberías que forman parte del sistema de agua y desagüe de los poblados de Illanya, Pachachaca y San Gabriel se ven en la necesidad de regar sus cultivos con aguas contaminadas.

El sector de Pachachaca baja está en constante crecimiento poblacional por lo cual presenta deficiencias en la gestión de aguas residuales domésticas y agua para riego. En una visita a la zona se observó que los pobladores utilizan una toma donde ingresa agua del rio Pachachaca para regar a través de sequias alrededor de 300 hectáreas de cultivos, debido a fallas en el sistema de tuberías de desagüe construida años atrás (con una

capacidad limitada) los buzones de desagüe de la zona se saturan continuamente y estas colapsan rebalsando, alcanzando y contaminando las sequias de agua que se usan para el riego de cultivos. Se observó la producción de alimentos de consumo directo como: tomate, albaca, cebolla china, perejil, culantro, etc. Al ser regados por estas aguas contaminadas descritas anteriormente conlleva un gran problema de contaminación biológica de los alimentos y suelos.

Algunas causas que contribuyen en este problema son: sistemas de tratamiento de aguas residuales tradicionales costosos de construir, operar y mantener. En muchas zonas no existen políticas ni programas de apoyo que faciliten la implementación de estas soluciones en comunidades locales, esto hace que sea difícil para los pobladores acceder a tecnologías adecuadas para el tratamiento de aguas residuales (Guerra, 2022).

Las consecuencias de la inadecuada gestión y disposición de aguas residuales domésticas son: al entrar en contacto con cuerpos de descarga se vuelven un foco de infecciones, afectando flora y fauna del ecosistema desprendiendo malos olores y dando un mal aspecto. La exposición directa e indirecta a aguas residuales genera diferentes problemas al entrar en contacto con la piel, por inhalación, consumo directo del agua y consumir verduras crudas regadas con estas aguas que generan enfermedades como: cólera, diarrea, afecciones en la piel y enfermedades gastrointestinales. (Vidal, 2018)

Ante ello se plantea recurrir al uso de humedales artificiales que significan una solución efectiva y rentable para la limpieza de aguas residuales domésticas.

2.1. Descripción y formulación del problema

Problema General

- ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023?

Problemas Específicos

- ¿Cuál es el adecuado diseño y construcción del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023?
- ¿Cuál es el tiempo de adaptación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la fitorremediación a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023?
- ¿Cuál es la variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas en la aplicación del tratamiento a través de humedales artificiales con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

- Evaluar la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.

2.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el adecuado diseño y construcción del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- Determinar el tiempo de adaptación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la fitorremediación a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- Establecer la variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas en la aplicación del tratamiento a través de humedales artificiales con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.

2.3. Justificación e importancia

El conocimiento para el manejo de las aguas residuales domésticas en Abancay aún es deficiente, en los sectores que se encuentran alejados de la ciudad se sufren percances con respecto a la gestión y disposición de estas aguas. Así como menciona Mena y Cespedes (2020), en una entrevista con los lugareños del sector los pobladores indican que conocen de la procedencia de las aguas de riego contaminadas que usan para sus cultivos, pero desconocen las consecuencias del consumo de estas en la salud humana.

Ante ello se recurre a una solución sostenible y ecológica denominada: humedal artificial, son procesos de ingeniería que usan recursos de la naturaleza para tratar los residuos que se encuentran en el agua. El sustrato y flora absorben partículas de los contaminantes que serán usados después como nutrientes resultando agua más apta para uso en riego. La flora a usar es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) el cual se puede obtener fácilmente en viveros. Según Rodríguez (2019) es recomendado y utilizado eficientemente para este tipo de tratamientos.

Con respecto al proceso de funcionamiento del humedal no necesita muchos recursos ni mucho personal, es un sistema prácticamente autónomo, solo necesita una persona capacitada para implementar y diseñar el humedal (ingeniero ambiental), con respecto al mantenimiento no requiere una persona capacitada y es un tratamiento eco amigable (Tito, 2020).

Las ventajas del tratamiento con este método a comparación con tratamientos convencionales son: en el ámbito económico el bajo costo en construir, operar y mantener el humedal. En el ámbito socioambiental las plantas florecen en una tonalidad morada generando un lugar agradable y atraen variedad de fauna, así también mejora la salud humana de las personas previniendo enfermedades. En el sector ambiental favorece el proceso del ciclo del agua, disminuye el grado de contaminación del suelo, mejora la calidad del agua para riego en la producción de los cultivos que se comen crudos o de

consumo directo y cuida el bienestar del medio ambiente. Todo ello brinda una alternativa de solución eficiente y fácil de aplicar favoreciendo a los pobladores de Pachachaca baja.

Al aplicar esta alternativa de solución avanzamos como sociedad al minimizar las consecuencias negativas de las aguas residuales domésticas generando conciencia ambiental a los demás ciudadanos, demostrando que los recursos que posee la naturaleza son suficientes para poder reducir el impacto negativo de las actividades diarias del hombre.

Por último, contribuimos a implementar y ampliar conocimientos para el adecuado trato de las aguas residuales domésticas a nivel local y regional capaces de aplicarse de pequeña a gran escala. Con la seguridad de obtener resultados positivos y contribuir a la minimización del impacto de la contaminación ambiental.

2.4. Hipótesis

Hipótesis general

- La capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es eficiente, a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.

Hipótesis específicas

- El diseño y construcción del humedal artificial es apropiado para el tratamiento de aguas residuales domésticas con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- El tiempo de adaptación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) es rápida en la fitorremediación a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- La variación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales domésticas varía de forma significativa en la aplicación del tratamiento a través de humedales artificiales con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Definición conceptual	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
VI: Humedal artificial de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)	El humedal artificial es un lugar que está lleno de agua con plantas en crecimiento como carrizos, espadañas, juncos, macrófitas y eneas. Las cuales aprovechan la interacción con microorganismos y atmosfera para remover materia orgánica. La abundante vegetación facilita superficies para el desarrollo y formación de películas bacterianas permitiendo la transferencia de oxígeno (Metcalf & Eddy, 1996).	Es un sistema que fito depura aguas residuales, basada en el desarrollo del cultivo de macrófitas enraizadas en una cama impermeabilizada de grava. El desarrollo de la macrófita genera una variedad de complejas interacciones químicas, biológicas y físicas por el cual el agua residual que afluye es depurada lenta y progresivamente (Delgadillo et. al 2010)	**-Diseño y construcción del sistema de humedal artificial**	◗ Caudal ◗ Área ◗ Profundidad	Volumen (L/s) m^2 m
			-Adaptación de la planta	◗ Tiempo de adaptación ◗ Color de hojas ◗ Altura de la planta ◗ Tamaño de raíz	◗ Días ◗ Pigmentación ◗ cm ◗ cm
VD: Aguas residuales domésticas	Proviene de las actividades rutinarias del hombre que son recolectadas por las tuberías de alcantarillado o emitidas de forma directa al ambiente (Castañeda & Flores, 2014). A si también se define como flujos de agua constituidas por la mezcla de deposiciones generadas por la ciudad que son provenientes de viviendas.	Las aguas residuales comprenden la acción y efecto del hombre el cual altera con contaminantes, formas de energía ya sea de forma directa o indirecta; implicando consecuencias negativas en la calidad del agua perjudicando su función ecológica. Generadas por los sistemas de abastecimiento de agua, después de haber sufrido modificaciones por distintos usos en el hogar. Está formada por componentes químicos, físicos y biológicos; mezcla de material orgánica e inorgánica, suspendidas o disueltas. (CONAMB, 2023)	**Características físicas**	◗ Temperatura ◗ pH ◗ Turbidez ◗ Sólidos disueltos ◗ Sólidos suspendidos ◗ Conductividad eléctrica	(°C) Acido, básico y neutro (NTU) (mg/L) (mg/L) (µS/cm)
			Características químicas	◗ DBO5 ◗ DQO	(mg/L) (mg/L)
			Características Microbiológico y parasitológico	• Coliformes Termo tolerantes • Huevos de helmintos • *Escherichia coli*	NMP/100 ml Huevo/L NMP/100 ml

Nota: Elaboración propia.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

Nivel Internacional

Noruega y Fernández (2019). En Popayán – Colombia cuyo estudio es “Evaluar la capacidad fitorremediadora de *Eichhornia crassipes* en dos tiempos de retención hidráulica para el tratamiento de aguas residuales domésticas”. Cuyo objetivo evaluó la viabilidad del uso de la planta como opción de tratamiento para aguas residuales domésticas. Por el análisis de 12 parámetros en el cual se encuentra el DBO, el tratamiento estableció 2 tiempos de retención del agua que va de 6 a 12 días en un periodo de 3 meses, se utilizó 5 tanques de plástico donde 4 tenían la planta y uno como control.

Los resultados de remoción obtenidas fueron de 61% a los 6 días y 89% a los 12 días. En conclusión, el mayor porcentaje obtenido fue a los 12 días de tiempo de retención hidráulica y así los humedales artificiales demuestran ser eficientes para su implementación a pequeña o gran escala.

López (2023). En Guatemala cuyo estudio es “Uso de la especie *Eichhornia crassipes* del humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos”. El objetivo evaluó la actuación de parámetros de calidad de las aguas residuales. El humedal construido para la planta piloto ERIS/USAC fue de tipo flujo superficial de concreto armado de 4.60 x 2.60 para un aproximado de 110 personas con caudal de 0.20 L por segundo, las muestras fueron analizadas durante dos meses realizando la medición de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua residual.

Los resultados de los porcentajes de remoción obtenidos del antes y después del tratamiento con la planta son los siguientes: pH 1.56%, temperatura 3.00%, turbiedad 94.68%, DQO 85.32%, DBO5 91.47%, y SST 98.00%. En conclusión, los hallazgos muestran que el jacinto de agua posee un potencial significativo en la eliminación de los parámetros como: DQO, DBO, solidos suspendidos totales y turbidez de las aguas

residuales donde se alcanzaron porcentajes de reducción de hasta 90%.

Reyes et al. (2019). En Bucaramanga - Colombia cuyo estudio es “Humedales artificiales: una alternativa de tratamiento terciario para el saneamiento de efluentes provenientes del beneficio de la palma”. Cuyo objetivo fue establecer la actuación de los parámetros fisicoquímicos del proceso de tratamiento de aguas residuales de la planta de beneficio alianza del humea. El proceso tuvo un periodo de 5 días usando el jacinto de agua que consta de: laguna de acondicionamiento (sedimentación), laguna anaeróbica, laguna facultativa, canal de sedimentación y entrada de canales. La metodología empleada para los análisis se hizo con Métodos normalizados para el análisis de agua y aguas residuales 23° edición.

Los resultados demuestran que la entrada y salida de los canales con el jacinto de agua evidencia los siguientes porcentajes de remoción: 53.18% DQO, 91.90 % ST, 99.37% SST, 99.94% SS. En conclusión, la implementación del sistema de humedales como tratamiento terciario logra el cumplimiento de exigencias ambientales y así también la biomasa generada puede ser parte de un alto contenido de nitrógeno.

Solís et al. (2016). En Venezuela cuyo estudio es “Evaluar humedales artificiales de tipo flujo libre y subsuperficial en remoción de contaminantes de aguas residuales con diferentes especies macrófitas”. Cuyo objetivo es remover contaminantes del agua residual usando flujo libre (*Typha domingensis) y flujo subsuperficial (Eichhornia crassipes y Paspalum paniculatum, Cyperus articulatus L).* En este sistema se construyeron como control hoyos sin vegetación y hoyos con grava, el diseño de los humedales artificiales tuvo dimensiones de: 1,2m de ancho, 2.5 m de longitud y 1m de altura, respecto al periodo de adecuación de las plantas fue de un mes y el tiempo de retención del agua fue de 5,5 y 7,5 días.

Los resultados usaron análisis no paramétrico (Kruskal-Wallis), evaluando los resultados significativos entre los cuatro tratamientos y control, el jacinto de agua presento porcentajes de remoción de: 93,1% en $DBO_{5,}$ 94.7 % turbidez, 93,4% DQO. Concluyendo

que el análisis con diferentes tipos de vegetación afirma que son sistemas factibles para la limpieza de aguas residuales.

Arce (2018). En Bogotá cuyo estudio es “Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción”. El objetivo es demostrar a los humedales artificiales como una opción para el tratamiento eficiente y económico de las aguas de producción de la industria petrolera. Brinda información básica y necesaria mediante: tipos, componentes, construcción y operación de humedales artificiales, la importancia de la selección de la planta a utilizar y su mantenimiento permitiendo la validez en la limpieza del agua. Establece parámetros primordiales en el tratamiento de las aguas residuales como: DQO, DBO, pH, SST y coliformes fecales.

Según estos estándares la mayoría de plantas presentan un 89,2% en DBO_5 y 89% en SS. Concluyendo así que estos sistemas implican una innovación factible tanto para tratamiento de aguas residuales como para aguas de producción. Con el uso del humedal artificial se puede reducir los costos del tratamiento del agua en 1,3 centavos por barril del agua tratada, el precio de mantenimiento y operación de los humedales artificiales es de 7 dólares comparado al coste de un tratamiento típico que este alrededor de $30.

Nivel Nacional

Chang y Huamán (2019). En Junín cuyo estudio es “Eficiencia de las macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia Stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas”, el objetivo evalúa la eficacia de las macrófitas: *(Eichhornia crassipes*) y (*Pistia stratiotes*) en proceso de tratamiento. El sistema consta de 2 humedales de flujo subsuperficial y un sedimentador para cada planta, el proceso es desarrollado en un periodo de 4 meses, y la retención hidráulica para el análisis fue de 10 días.

Los resultados en la remoción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos son: DQO 72.1%, DBO 78.2%, STS 82%, aceites y grasas 75.4% y coliformes fecales 99.9%. En conclusión, la Eichhornia crassipes obtuvo 81.5% de remoción comparado con

la *Pistia stratiotes.*

Vásquez (2018). En Trujillo cuyo estudio es “Remoción de materia orgánica usando jacinto de agua en aguas residuales de la universidad Cesar Vallejo con humedales artificiales”, el objetivo estudia la reducción de materia orgánica de las aguas residuales con el uso del humedal artificial de jacinto de agua. Donde se analizaron parámetros físicos y químicos como: DQO, DBO y sólidos suspendidos totales, antes y después del tratamiento para evidenciar la eficiencia en un periodo de 15 días realizando análisis cada 5 días.

Los resultados de mayor porcentaje de remoción a los 10 días son: 63,9 % DBO_5 a los 15 días, 65,1 % DQO a los 10 días y 68,2 % TSS, en conclusión, se observa disminución significativa de materia orgánica con respecto a los anteriores. Se compararon con LMP para efluentes de PTAR, al término de los 15 días si cumple con lo establecido por norma.

Guerra (2022). En Lima cuyo estudio es “Elaboración de humedal artificial con *Schoenoplectus americanus* para depurar aguas residuales domésticas”, cuyo objetivo fue el tratamiento de dichas aguas desarrollando un humedal de tipo flujo subsuperficial horizontal, en el cual determina 2 puntos de análisis del muestreo (al inicio y posterior del tratamiento) con 4 L de muestra en cada punto con un periodo de 15 días (5,10 y 15 días).

Los resultados obtenidos son: sólidos suspendidos 96.41%, sólidos totales disueltos 58.87%, aceites y grasas 99.82%, DBO 96.77%, conductividad 64.38%, turbidez 50% y DQO 96.90%. Concluyendo que el humedal diseñado es eficaz y favorece en el proceso de remoción de contaminantes en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Julca (2016). En Lima cuyo estudio es “Eficiencia del humedal artificial piloto para remover coliformes fecales del canal de regadío con especies *Phragmites australis* y *Eichhornia crassipes*”, el objetivo fue establecer el porcentaje de eliminación de coliformes fecales mediante el humedal artificial y comprobar su eficacia. Se realizó la construcción de 5 humedales con jacinto de agua (E1) y carrizo (E2). Las muestras se tomaron según el protocolo de control de calidad de los recursos hídricos superficiales.

Los resultados logrados se realizaron en 3 tiempos diferentes (5, 10 y 15 días) para cada relación (100% E1, 75% E1 y 25% E2, 50% E1 y 50% E2, 25% E1 y 75% E2, 100% E2). Se alcanzó un porcentaje de remoción de 80.26%, concluyendo la eficacia del uso de humedales artificiales para los coliformes fecales.

Balderon y Chavez (2023). En Callao cuyo estudio es “Efectividad de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la PTAR”, el objetivo fue evaluar la eficacia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el uso de las especies *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*. Mediante 3 estudios con cada planta y con humedales en series evaluando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con tiempo de retención del agua de 4 días.

Los resultados con respecto al jacinto de agua son: aceites y grasas 1.8, coliformes fecales 1,8, DBO_5 31,3, DQO 9,5, escherichia coli 1,8, huevos de helmintos 1, SST 17. Concluyendo que se consiguieron porcentajes de remoción de 45% a 99% para *Escherichia coli* y 80% a 100% para coliformes fecales con el uso del jacinto de agua, es importante mencionar el aumento de biomasa de 5.1 kg a 11 kg evidencia el crecimiento rápido y fácil adaptación de la planta que contribuye al correcto funcionamiento del humedal.

Torres (2021). En Chiclayo con su estudio “Diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales municipales, integrando plantas acuáticas (*Pistia estratoides*) y (*Eichhornia crassipes*)”, el objetivo fue determinar la capacidad fitorremediadora de las plantas en las lagunas de estabilización. Se realizaron los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, los humedales tenían dimensiones de: 4.20 m de ancho, 6.40 m de largo y 0.55 m de profundidad y un talud de relación 1:1, se realizó 5 análisis en un periodo de 37 días cada 7 días.

Los resultados obtenidos a los 14 días son: aceites y grasas 11.18, sólidos suspendidos totales 413.8, demanda química de oxígeno 714.2, demanda bioquímica de

oxígeno 294.4, coliformes fecales 79, temperatura 23.2 y pH 9.68. Y a los 37 días son: SST 27.5, aceites y grasas 3.6, DBO 265, DQO 587.5, coliformes fecales 1.8, pH 8.57 y temperatura 21.7. En conclusión, el jacinto de agua posee mayor porcentaje de eficiencia que la lechuga de agua, es muy eficiente para remover casi el 98% de aportes per cápita.

Nivel regional y local

Debido a la ausencia de investigaciones con información bibliográfica en la región sobre tesis relacionadas a nuestro proyecto, se cuenta con el siguiente antecedente:

Triveño (2016). En Abancay con su estudio sobre la “Influencia del río Mariño en la calidad del agua del río Pachachaca”, determino la medida en el que el río Mariño repercute en el río Pachachaca.

Desarrollando 11 parámetros cuyos resultados del río Pachachaca (al entrar en contacto con el rio Mariño) son: pH 7.3, sólidos totales disueltos 370, turbidez 48 UNT, conductividad 940 µs/cm, sólidos suspendidos totales 10 mg/L, demanda química de oxígeno 12 mg/L, aceites y grasas 4 mg/L, coliformes termo tolerantes 5500 NMP/100ml coliformes fecales 720000 NMP/100 ml y demanda bioquímica de oxígeno 5 mg/L. Con t de student se detectaron parámetros que superan los ECA para agua. Concluyendo que la contaminación del río Pachachaca es continuo por la influencia del río Mariño.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Aguas residuales

Es una actividad o efecto, durante el cual una persona directa o indirectamente aporta al agua sustancias, formas de energía o condiciones contaminantes; significando cambios adversos en su función ecológica o calidad debido al uso posterior. Estas aguas llegan del sistema de alcantarillado de la ciudad luego de ser transformadas por uso doméstico, industrial y comunitario (Rojas, 2005).

3.2.1.1. Composición de las aguas residuales

Las aguas residuales contienen un 99,9% de agua en calidad de potable y un 0,1% por peso de sólidos, ya sea disueltos o suspendidos. El agua actúa o sirve como cuerpo de movilización de sólidos que pueden disolverse o suspenderse en la superficie del líquido (Estrucplan, 2000).

Tabla 2

Composición de las aguas residuales.

Agua Potable	Sólidos	Gases Disueltos	Componentes Biológicos
99.9%	0,1% (por peso)	O2	Bacterias
	Suspendidos y disueltos	CO2	Micro y
	Coloidales	H2S	macroorganismos
	Sedimentables	N2	Virus

Nota: Extraído de Estrucplan (2000).

La tabla detalla la composición del agua residual, los sólidos son materia que se encuentran en dos categorías: suspendidos (se pueden separar por método físico) que son removidos del agua mediante técnicas de sedimentación y disueltos (se encuentran a nivel molecular requiriendo procesos químicos o biológicos para su remoción).

Los gases disueltos comunes presentes en la atmósfera y agua son: el oxígeno (O_2), dióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2) a diferencia del sulfuro de hidrogeno (H2S) que proviene de la degradación de la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales tales como el metano (CH_4) y el amoniaco (NH_3).

Los componentes biológicos son microorganismos que incluyen bacterias, virus y otros microbios presentes en los desechos humanos o que crecen en el agua sucia.

3.2.2. Aguas residuales de uso doméstico

Resulta de las actividades diarias humanas que se recolectan en alcantarillas o se descargan directamente al medio ambiente. Son flujos de agua formados por desechos humanos, incluyendo orina y heces, generadas en hogares o locales comerciales. También se denominan aguas servidas porque se han utilizado en procesos, transformaciones y limpiezas, debido a ello no son útiles para el uso inmediato (Castañeda & Flores, 2014).

3.2.3. Tipos de aguas residuales

Según Zambrano y Saltos (2009) la contaminación de aguas residuales es considerada como la impurificación artificial, de forma directa o indirecta producida por las actividades del hombre. Por ello se debe conocer la contaminación, causas o actividades que la generan y se clasifica los tipos de aguas residuales en:

a) Aguas residuales domésticas**:** Son aguas que se producen en los hogares e infraestructuras comerciales de carácter público o privado. Constituidas por agua de lavado, limpieza y aguas fecales. Los principales contaminantes contienen materia orgánica, gérmenes patógenos, sólidos, detergentes, fósforo y nitrógeno, y otros en mínima proporción.
b) Aguas residuales Pecuarias**:** Se generan de la actividad vacuna si se trabaja de forma intensiva dicha actividad generalmente son vertidos directamente a los cauces y son vertidos localizados, concentrados y constantes.
c) Aguas residuales de origen agrícola: Esta contaminación se da por la escorrentía de la lluvia y agua de riego con productos agroquímicos. Este se incorpora a las fases del ciclo del agua distribuyendo los contaminantes. Los lagos, ríos, lagunas son los cuerpos receptores del agua afectados por esta contaminación.

   Esta actividad genera dos tipos de contaminaciones según la función del compuesto ya sea usado como abono o como pesticida.

d) Aguas residuales industriales: Son aguas originadas por las actividades industriales, al existir tantos tipos de industrias también hay distintos tipos de aguas residuales industriales.

El agua de abastecimiento se transformará en agua residual utilizadas principalmente como: aguas de refrigeración, aguas de proceso, aguas de limpieza, y calefacción.

e) Aguas de escorrentía urbana: Estas aguas provienen de las precipitaciones de fluviales, su caudal es de orden 50 a 200 veces mayor al caudal de los vertidos de origen doméstico, comercial e industrial, las aguas de lluvia no son del todo limpias, algunas mojan las superficies, otras se evaporan y otras se retienen en huecos del suelo.

Al continuar la precipitación el agua se moviliza limpiando y transportando los contaminantes acumulados en el suelo.

3.2.4. Caracterización de las aguas residuales

3.2.4.1. Características físicas

Temperatura

Es un parámetro de importancia que indica la cantidad de calor presente se mide en grados Celsius (°C) que afecta a las características fisicoquímicas del agua residual. Influye directamente entre las reacciones biológicas y químicas que se desarrollan en el tratamiento de las aguas residuales, afecta la tasa de reacciones químicas (a temperaturas altas las reacciones químicas ocurren más rápido).

También posee un impacto directo hacia los microorganismos responsables de la degradación biológica de los contaminantes del agua residual ya que su crecimiento y supervivencia está estrechamente ligados a la temperatura.

La temperatura adecuada para el desarrollo de la actividad bacteriana se encuentra en promedio de 25 y 35°C (Metcalf & Eddy, 1995).

Turbidez

La turbidez mide la opacidad de un líquido y es un indicador significativo para la determinación de la calidad del agua. La pérdida de transparencia es producida por la presencia de partículas en suspensión del líquido que dispersan la luz tornándolo nublado o turbio. Dichas partículas pueden ser pequeñas gotas de líquido insoluble que forman una suspensión coloidal o sólidos.

Las partículas suspendidas bloquean la luz solar que incide directamente sobre el cuerpo de agua limitando la fotosíntesis de plantas acuáticas y disminuye la producción de oxígeno generando que dichas partículas absorban la luz del sol e incremente la temperatura del agua disminuyendo la solubilidad del oxígeno disuelto y facilitando su evaporación. La presencia de material particulado promueve el recrecimiento de patógenos en el agua disminuyendo el proceso de desinfección (Telleria, 2022).

pH

Indica la concentración de iones de hidrogeno presente en una solución indicando acidez o alcalinidad, es un factor crucial que determina la eficiencia del tratamiento y el impacto medioambiental de los efluentes. El pH afecta la actividad biológica, un valor adecuado asegura que los microorganismos a cargo de la descomposición de contaminantes funcionen de manera óptima. (Metcalf & Eddy, 1995).

Aceites y grasas

Por lo general son de origen doméstico liberados en aguas residuales causan la formación de espumas y capas gruesas que obstruyen tuberías. Afectan la descomposición biológica de componentes orgánicos ya que forman una capa impermeable que impide la correcta oxigenación resultando que los microorganismos encargados de la descomposición no funcionen correctamente.

Así también pueden provocar la eutrofización, estos compuestos pueden tener bacterias patógenas o sustancias que causan enfermedades y dañan flora y fauna acuática (Metcalf & Eddy, 1995).

Solidos suspendidos totales

Son aquellos materiales como: arcilla, arena, coloides agregados, materia orgánica e inorgánica y microorganismos del agua. Mide los sólidos que permanecen en suspensión en las aguas residuales, se asocian con turbidez y claridad del agua (color). La alta concentración de partículas causa problemas debido a la presencia de amplios contaminantes que contribuye a la eutrofización del agua (Ruiz, 2017).

Solidos disueltos totales

Son la medida de concentración de todas las sustancias disueltas en un líquido y de los residuos que quedan después de evaporar una solución que incluyen sales, minerales, gases, metales pesados o cualquier compuesto orgánico o inorgánico disuelto en agua. A mayor grado de composición afecta a la salud humana, calidad del agua y su potabilidad (Jimenez, 2001).

Conductividad eléctrica

Mide la facilidad del agua para conducir electricidad es un parámetro importante al momento de evaluar la calidad y determinar el nivel de contaminación. La alta conductividad indica una gran contaminación por elementos disueltos. Las aguas residuales domésticas generalmente contienen altas cantidades de sales solubles y cloruro de sodio que producen una alta conductividad.

El agua se ve afectado por los sólidos inorgánicos disueltos, los compuestos orgánicos poseen una baja conductividad eléctrica y es afectada por la temperatura (Gamboa, 2016).

3.2.4.2. Características químicas

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

Representa la parte de materia orgánica degradable utiliza como indicador la cantidad de oxígeno que requiere para el proceso de oxidación de materia orgánica biodegradable que se encuentra en el agua como producto de la oxidación aeróbica. La demanda bioquímica de cinco días implica la totalidad de oxígeno que consumen los

microorganismos durante los 5 días de biodegradación.

Esta materia orgánica necesita oxígeno para ser degradada en el agua, una alta concentración favorece el crecimiento de hongos y bacterias. Las consecuencias al ambiente más importantes son: elevación del pH y cambio en la calidad del agua (Rafo & Ruiz, 2014).

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Representa el conjunto de compuestos oxidables, es un parámetro que se usa para conocer el nivel de contaminación del agua residual que implica la cantidad que necesita el oxígeno para oxidar químicamente la materia orgánica.

Nos ayuda a estimar la cantidad de materia orgánica que hay en las aguas residuales que en condiciones naturales se biodegrada lentamente dependiendo del tipo y condición (Ramirez, 2008).

Compuestos Inorgánicos

- Nitratos: Es un producto de la degradación de materia animal y vegetal o compuestos nitrogenados, los microorganismos cambian la materia orgánica del agua en presencia del oxígeno (Larios, 2009).
- Sulfatos: Son fáciles de diluir en agua, producto de la oxidación bacteriana de los sulfuros, la concentración es de 20-50 mg/l (Aguilera et al. 2010).
- Cromo: Esta de forma natural en aguas residuales, metal que forma complejos cianurados y aminados que presentan un grado de toxicidad en los organismos (Benito, 2015).
- Hierro: Se encuentra en aguas residuales por la fabricación de acero y otros materiales, esta de forma trivalente, esto genera graves problemas de salud (Gilvapas, 2016).
- Cloruro: Producto de la disolución de almacenes de minerales, provienen de distintos afluentes de actividades domesticas o industriales, considerado indicador de contaminación microbiológico (Morante, 2002).

- Zinc: Generan la turbidez del agua en grandes cantidades se encuentra en forma iónica, inorgánica y coloidal. Indicador de contaminación por aceite de motor, derrame de lixiviados y pilas (Mancilla et al. 2011).

Compuestos Orgánicos

- Carbohidratos: Están formadas por almidones y azucares que se descomponen por la actividad microbiológica, representa un 25% de componentes orgánicos que están en aguas residuales (Salgabo et al. 2011).
- Proteínas: Representa un 65% de materia orgánica y es un componente químico importante que se prioriza en el tratamiento de aguas residuales domésticas (Romero et al. 2011).
- Lípidos: Representa el 10% de componentes orgánicos formados por aceites y grasas, es un componente no deseado ya que favorece la obstrucción de tuberías (Vasquez & Vasquez, 2003).

3.2.4.3. Caracteristicas Microbiológicas y parasitológicas

Coliformes Termo tolerantes o fecales

Es un subgrupo de los coliformes totales, conocidos como termo tolerantes debido a que son idóneos para fermentar lactosa en temperaturas elevadas de 44 y 45°C. El origen de estos coliformes está en el intestino de algunos animales por ello están presentes en la materia fecal.

Dentro de este grupo se encuentran: *Enterobacter, escherichia* y *Klebsiella* resaltando entre todas la *Escherichia coli*, esta es una señal indiscutible de contaminación del agua por materia fecal (Beatriz, 2023).

Escherichia coli

Pertenece a la familia Enterobacteriácea que expresa enzimas β-galactosidasa y β-glucuronidasa. E. Coli. son bacterias con forma de bacilos con bordes redondeados, miden de 0.5 y 3 micras, es una especie que se encuentra dentro de coliformes termo tolerantes se encuentra en las heces siendo un indicador indiscutible de contaminación por materia

fecal y potencial presencia de patógenos entéricos. Su detección en el agua indica una contaminación reciente.

Las consecuencias son enfermedades relacionadas a nivel digestivo como síndromes intestinales y trastornos al tracto genitourinario (Abreu, 2020).

Huevos de helmintos

Se encuentran en el ambiente y son importantes para la salud debido a que su mínima dosis infectiva es altamente resistente a ciertas condiciones ambientales como: humedad, temperatura, pH y al cloro. Claro indicador de contaminación fecal por presencia de parásitos en aguas residuales. Entre los más frecuentes y predominantes son: *Trichuris, Ascaris, Hymenolepis* y *Ancylostoma*. El peligro se produce por entrar en contacto directo con agua contaminada o consumo directo (Campos, 2018).

3.2.5. Tratamientos de aguas residuales domésticas

El nivel de tratamiento que requieren las aguas residuales depende de los límites de vertido del efluente. El tratamiento inicial se utiliza para eliminar materias sobre el agua y sólidos en suspensión. El secundario consta de tratamientos biológicos convencionales y el terciario acaba con contaminantes que no se eliminaron en el proceso biológico convencional (Ramalho, 1996).

3.2.5.1. Clasificación de los tratamientos de aguas residuales

Según (Sans & Ribas, 1989) clasifica el tratamiento de aguas residuales en los siguientes procesos:

Procesos físicos: Son procesos en los cuales se emplean fuerzas físicas para el tratamiento, se usan durante todo el proceso, otras son operaciones de tratamiento exclusivos. Los principales son: evaporación, desbaste, mezclado, homogenización de caudales, floculación o coagulación, sedimentación, filtración y flotación.

Procesos químicos: Estos procesos se llevan a cabo por agregar reactivos químicos o por propiedades químicas de distintos compuestos. Se usa en la limpieza de aguas residuales junto con operaciones físicas y procesos biológicos. Los principales son:

transferencia de gases, precipitación química, separación de amoniaco por arrastre con aire, desinfección con cloro, decloración, con dióxido de azufre, eliminación de sustancias inorgánicas disueltas y ultrafiltración.

Procesos biológicos: Este procedimiento se realiza en todo tipo de aguas residuales que se considera un tratamiento secundario, cuyo objetivo es la conglomeración y eliminación de solidos coloidales que no se pueden sedimentar en la decantación primaria, así como equilibrio de materia orgánica todo ello se consigue con el uso de microorganismos principalmente con bacterias. Los principales procesos biológicos son: aeróbicos y anóxicos o anaeróbicos.

3.2.5.2. Técnicas alternativas para el tratamiento de aguas residuales domésticas

El crecimiento en la generación de aguas residuales ha motivado a la ingeniería encontrar alternativas de tratamiento de limpieza (autónomas, eficaces y económicamente viables). Uno de ellos son los tratamientos que simulan los fenómenos que ocurren de forma natural en el ambiente denominado tratamientos naturales y el uso humedales artificiales en sus distintas variedades, es más frecuente debido a sus beneficios como: bajos costes de inversión, operación, mantenimiento y no requiere personal altamente capacitado.

Al día de hoy es una opción que ha demostrado eficiencia en la disminución de materia orgánica siendo viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Arias & Brix, 2003).

3.2.6. Los Humedales

3.2.6.1. Humedales naturales

Son espacios semi terrestres con un alto porcentaje de humedad y una abundante vegetación, que cumplen algunas características físicas, biológicas y químicas, que les otorgan una alta capacidad como auto depurador. Los humedales naturales logran una gran complejidad, con: vegetación (flotante, sumergida, emergente), mosaico de lámina de agua y zonas con nivel freático cercano a la superficie. Ocupan espacios que existen entre

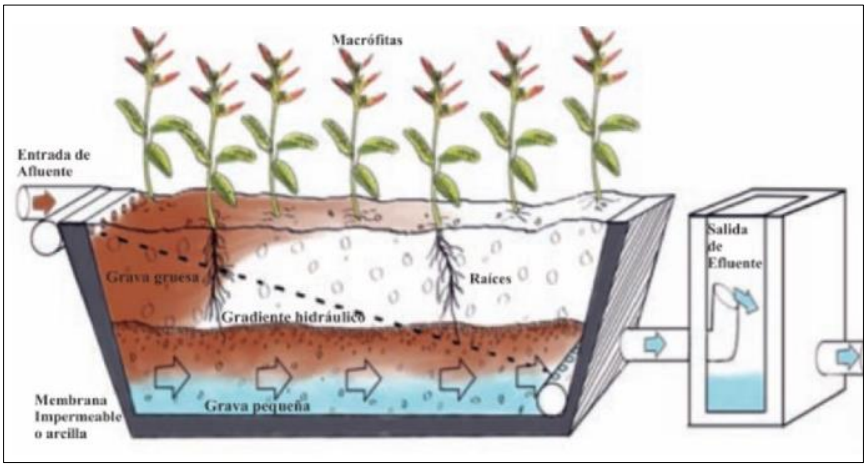
medios húmedos y/o secos los cuales poseen características de ambos, debido a ello no son ni acuáticos y terrestres (Hammer & Bastian, 1989).

3.2.6.2. Humedales artificiales

Los humedales artificiales o construidos por lo general se clasifican como sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales. En la limpieza del agua residual se da la interacción entre componentes del humedal y fenómenos químicos, físicos y biológicos, con la intervención del sol como fuente principal de energía (Arias & Brix, 2003).

Figura 1

Humedal artificial.



Nota: Humedal artificial y elementos adaptado de Dolores et al. (2018)

Se observa al humedal artificial como áreas que se encuentran llenas de agua a tratar, con los siguientes elementos: entrada de afluente y salida de efluente, membrana impermeable o arcilla que asegura la integridad del humedal, grava gruesa en la superficie y grava pequeña en la parte superior que limpia por arrastre los contaminantes, las plantas emergentes usan las interacciones con microorganismos por las raíces y la atmósfera por las hojas para mover la materia orgánica.

Benefield & Randall (1980) mencionan los tipos de procesos de remoción de los humedales artificiales que son los siguientes:

Proceso de remoción físico

Estos sistemas son eficientes en la remoción física de contaminantes relacionados a material particulado. El movimiento del agua es lento debido al flujo laminar, resistencia que dan las raíces y plantas en el agua. El proceso de sedimentación de sólidos suspendidos se realiza por el flujo lento y es laminar. Las esteras de las plantas sirven como trampas, el rol primordial es remover sólidos suspendidos para minimizar la re suspensión de los materiales particulados. El nivel de eficacia de remoción de material particulado varia por la rapidez de partículas y longitud.

Proceso de remoción biológico

Este es el proceso más transcendental que realiza la planta, los contaminantes son procesadas fácilmente por las plantas debido a que algunos de ellos son formas de nutrientes importantes como: amonio, nitrato y fosfato. Gran variedad de plantas son capaces de almacenar, acumular y secuestrar metales pesados o tóxicos como plomo y cadmio. Con respecto a la velocidad del proceso de remoción de los contaminantes varia y depende a factores como: desarrollo de la planta y cantidad de contaminante en hojas de la planta.

Proceso de remoción químico

En el suelo resalta la absorción a corto y largo plazo de distintos contaminantes. Se define como intercambio de iones iniciando con la fase de líquida a sólida (del agua al suelo), ese describe procesos de reacciones de absorción y precipitación. La absorción es la unión de iones a las partículas del suelo por un intercambio catiónico implica la unión física de cationes a la superficie de la materia orgánica y arcilla debido a ello los cationes no se retienen por mucho tiempo en el suelo.

3.2.7. Tipos de humedales artificiales

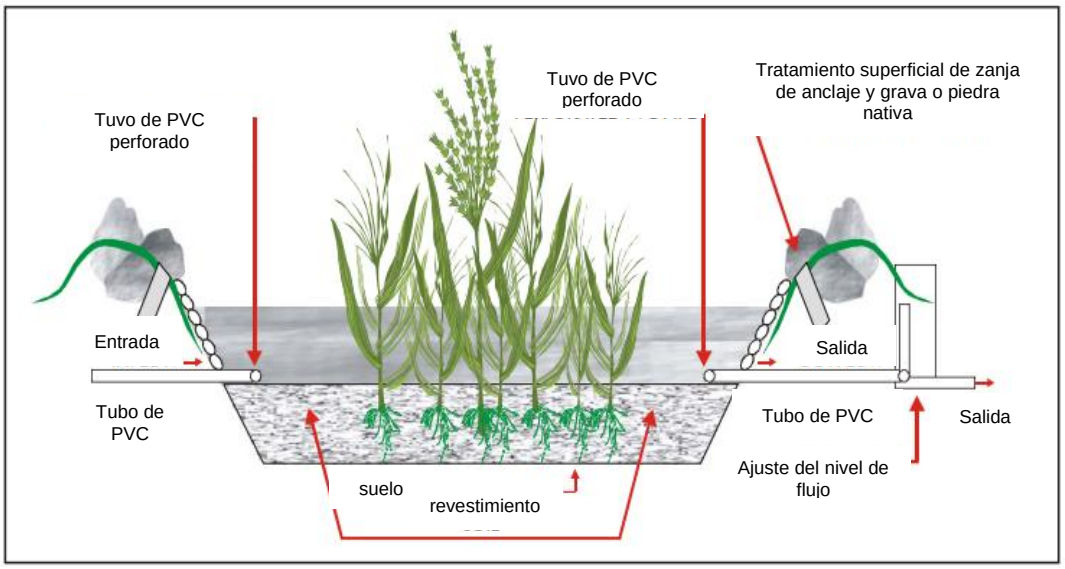
3.2.7.1. Sistema de agua superficial libre (SASL)

Este sistema está formado por canales o estanques con barreras subterráneas para

prevenir infiltraciones, el suelo para la flora creciente y agua con una profundidad parcialmente baja. Para la regulación del flujo del agua se tienen ciertas características establecidas las cuales son: baja profundidad, velocidad del flujo de agua y presencia de los tallos de plantas emergentes. Ingresan aguas residuales que pasaron por un pre tratamiento y la limpieza del agua ocurre con el flujo transcurriendo lento por tallos y raíz de plantas. Así también presenta niveles de tratamiento en climas fríos (Reed & Brown, 1992).

Figura 2

Sistema de agua superficial libre (SASL)



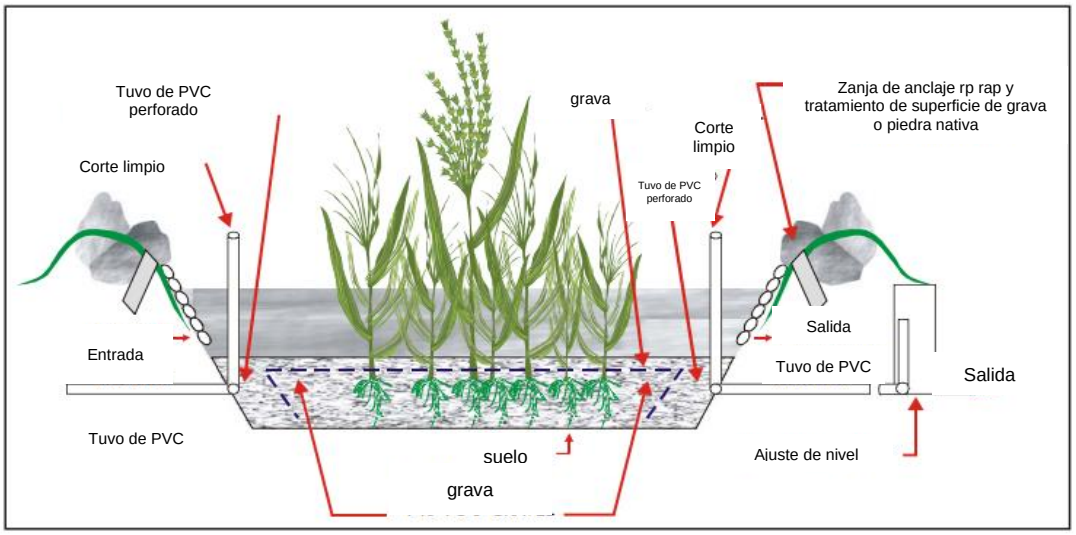
Nota: Adaptado de Llagas (2006).

3.2.7.2. Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS)

Este sistema es idéntico a los filtros horizontales por goteo de PTARs. Es distinguida por el desarrollo de plantas con el uso de grava o piedras y suelo como sustrato en la superficie del humedal. En ella los microbios arremeten al medio y a las raíces relacionándose así con el agua residual que corre horizontalmente a lo largo, lo sobrante desciende a la superficie del canal, también están diseñados para tener nivel de tratamiento secundario (Reed & Brown, 1992).

Figura 3

Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS)



Nota: Adaptado de Llagas (2006).

Humedales subsuperficiales de flujo vertical

Este sistema es conocido también como filtro intermitente, en el cual ingresan aguas residuales de forma descendente en un diseño de tuberías. De forma vertical ingresa el agua por medio del sustrato establecido como gravas y arenas ello se agrupa en una red de drenaje en la superficie del humedal. El agua ingresa de manera discontinua motivando y manteniendo al máximo la calidad aeróbica. Para una calidad aeróbica de este medio poroso se colocan chimeneas (tuberías cribadas con salida al exterior).

La diferencia con el humedal de flujo horizontal es que este posee sustrato de diversas capas donde la más delgada se encuentra en la parte superior, minimizando el tamaño de las gravas (Alarcón et al. 2018).

Humedales subsuperficiales de flujo horizontal

Este sistema inicia con una cama de grava o tierra en el cual se sembraron macrófitas de agua. Toda la superficie de la cama es recubierta con material impermeable o de concreto que evite filtraciones. (Bizarra & Portillo, 2021).

El ingreso del agua está de acuerdo a la zona superior con tubos de drenaje en la

parte baja. De forma que el agua residual será limpiada de manera lateral por un medio permeable. La profundidad del humedal se encuentra de 0.45 m a 1m con pendiente de 0.5%a 1% (Delgadillo et al. 2021).

3.2.8. Diseño y estructura de los humedales

Tabla 3

Diseño y estructura de un humedal artificial

Tipo de flujo	Subsuperficial
Retención hidráulica	>5 días
Largo y ancho	02:01
Profundidad	>0.60m<1.0m
Pendiente del fondo	0.5 – 1%
Tipo de relleno	Arenas y gravas
Plantas	Variable

Nota: Adaptado de Intriago (2019).

El diseño del humedal artificial varía según ciertas características establecidas como: tiempo de detención establecido, relación de largo, ancho, profundidad y pendiente del terreno. Así también el tipo de sustrato establecido son arenas y gravas de diámetros pequeños que debe cumplir características físicas como permeabilidad, conductividad y granulometría.

La elección de la vegetación este depende de que contaminantes se desea remover asegurando su eficiencia en el tratamiento (Intriago, 2019).

3.2.9. Plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales

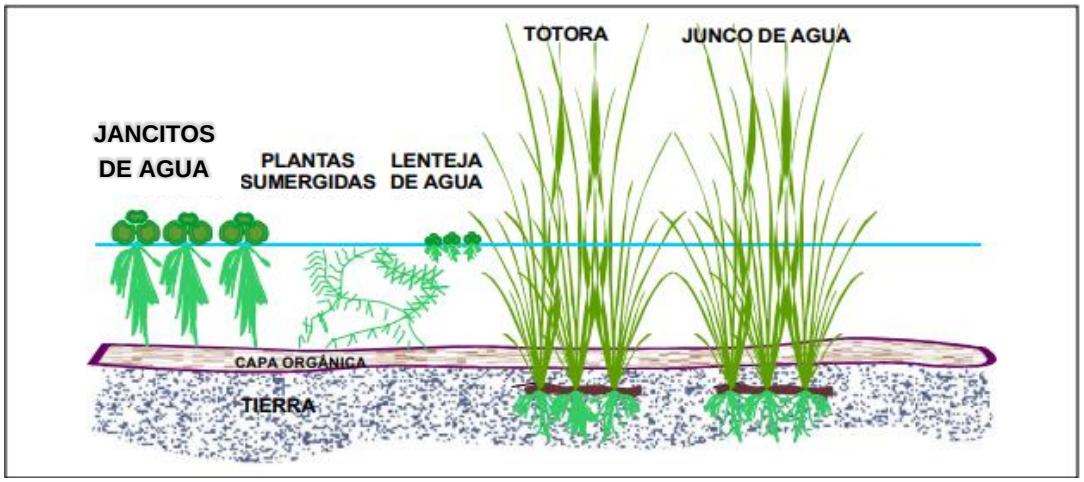
Chafloque y Gomez (2006) mencionan sistemas que incluyen dos tipos de plantas dominantes en los humedales artificiales y son:

El primero utiliza plantas que flotan en el agua estas resaltan por la habilidad de derivar dióxido de carbono y necesitar oxígeno de forma directa de la atmósfera, así también las plantas adquieren los nutrientes minerales del agua.

El segundo consta de plantas que están sumergidas, distinguidas por su capacidad de absorber al dióxido de carbono, oxígeno y minerales del agua. Estas plantas se saturan fácilmente si el nivel de turbiedad es alto debido a que la fotosíntesis lo realiza dentro del agua.

Figura 4

Plantas comunes de un humedal artificial.



Nota: Plantas acuáticas comunes adaptado de Meetcalf y Eddy (1996).

Debido a su efectiva capacidad en el proceso de tratamiento de aguas residuales las plantas acuáticas mas comunes son: macrófitas flotantes (jacintos de agua y lenteja de agua) donde las raices estan en el agua, macrófitas sumergidas (plantas sumergidas) las plantas estan por completo dentro del agua y macrofitas emergentes (totora y junco de agua) donde las raíces estan dentro de la grava y las hojas emergen.

3.2.10. Jacinto de Agua

Los nombres comunes usados son: camalote, flor de agua, flor de huauchinango, cucharilla, lirio acuático, reina, violeta de agua o ninfa. Y su nombre común en inglés es Water-hyacinth o wáter Lily (Martinez, 1979).

Se encuentra en agua dulce de leve movimiento o tranquilas como: ríos, canales, pantanos o zanjas. Están distribuidas en los países tropicales y subtropicales alrededor del mundo (Hanan, 2009).

Tabla 4

Clasificación taxonómica del Eichhornia crassipes.

Categoría Taxonómica	
Reino	Plantae.
Sub reino:	Traqueobionta (plantas vasculares).
División:	Magnoliophyta (planta con flor).
Clase:	Liliopsida (monocotiledónea).
Sub clase:	Lilidae.
Orden:	Liliales
Familia:	Pontederiacae
Género:	Eichhornia
Especie:	E. Crassipes (Mart) Solms

Nota: Adaptado de Solms et. al (2013*).*

Figura 5

Jacinto de agua

Nota: Adaptado de Solms et. al (2013*).*

A. Descripción botánica

Hidrofito flotante herbáceo, que se encuentra comúnmente en estanques, lagos y ríos de aguas cálidas y tropicales, dotado de cuantiosos estolones con raíces fasciculadas

en los nudos, el tamaño de la planta es muy variable, mientras que las plántulas tienen hojas de unos pocos centímetros de ancho o alto, las plantas adultas pueden alcanzar 1 m de altura con un buen suministro de nutrientes, aunque generalmente crece hasta 0,5 m de altura, asimismo las plántulas presentan hojas alargadas, que al poco tiempo desarrollan su característica forma de espátula, constan de pecíolo de 2 a 5 cm de grosor y limbo más o menos redondo, ovoide o en forma de riñón, de hasta 15 cm de ancho.

La base del pecíolo y cualquier hoja subsiguiente está encerrada en una estipula de hasta 6 cm de largo. En condiciones adecuadas, sin sombra, sus pecíolos se ensanchan, se hinchan en forma de balón relleno de aire, para facilitar la flotación y asegurarse que una vez que se desprenden, las plántulas floten desde el lodo hacia el agua abierta.

A la vez, se reproduce asexualmente mediante brotes laterales y divisiones de los bulbos cada planta puede producir numerosos brotes, lo que permite una rápida propagación (Rojas, 2005).

B. Composición Química

Según Rojas, (2005) el componente químico principal del jacinto es el agua y está entre 95 y 93% de su masa total, sin embargo, este dependerá del ambiente en el cual crezca.

Tabla 5

Composición química del Eichhornia crassipes.

Componente	**% de masa seca**	
	Promedio	**Intervalo**
Proteína cruda	18.1	9.7-23.4
Grasa	1.9	1.6-2.2
Fibra	18.6	17.1-19.5
Ceniza	16.6	11.1-20.4
Carbohidratos	44.8	36.9-51.6
Fosforo	0.6	0.3-0-9

Nota: Adaptado Rojas (2005).

Vázquez (2020) brinda información sobre el jacinto de agua, características y cuidados.

C. Características

- **Tallo:** Presenta un tallo estolonífero relativamente corto del que emerge las hojas en roseta y un sistema radicular extenso. El sistema radicular es muy voluminoso, llegando en algunos casos a fijarse en el fondo del cuerpo de agua.
- **Raíces:** Las raíces se mantienen y logran brotar fuera del agua cuando presentan una alta densidad de población. De hecho, en condiciones favorables se pueden formar los camelotes o islas flotantes de lirios acuáticos formados por el entrelazado de sus raíces. El sistema radicular es de color oscuro y los rizomas emergen en un ángulo de 60 grados. Genera retoños o rizomas estoloníferos de 6-30 cm de longitud con varios entrenudos cortos que constituyen su principal medio de propagación.
- **Hojas:** Las hojas en disposición de roseta presentan pecíolos largos y cilíndricos en las plantas fijas al sustrato, o cortos y globosos en las plantas flotantes. Las láminas foliares de color verde brillante son de forma acorazonada, más ancha que larga, con el ápice aplanado o truncado y la base redondeada o cordada. Las hojas y pecíolos esponjosos e hinchados se caracterizan por la presencia de un tejido especializado o

aerénquima que almacena aire. Esta adaptación permite que el lirio de agua se mantenga flotando sobre la superficie de los cuerpos de agua.

- **Inflorescencia:** Es una espiga provista de 10-25 flores sésiles y terminales al final de un largo pedúnculo unido por dos brácteas. Las flores de seis pétalos poseen tonalidades púrpura, azul, rosácea o lavanda, con una mancha amarilla a nivel del perianto del lóbulo superior.
- **Fruto:** Es una cápsula en un rango de 1,5 a 2 cm de largo. Cada una de las cápsulas contiene de 450 a 480 semillas maduras de forma oval y 4 mm de espesor.

D. Cuidados

Soporta temperaturas agrandas entre 17º a 28º C, siendo adecuado para su crecimiento de 22 a 24º C. No obstante, las bajas temperaturas afectan notablemente su desarrollo, al igual que el pH ácido y la alta salinidad del medio.

Su crecimiento es eficiente en aguas eutrofizadas, con elevado contenido de elementos minerales como: potasio, fósforo y nitrógeno. Así también no se ve limitado el crecimiento debido a la presencia de elementos contaminantes como plomo, cadmio, hierro, cobre, mercurio y arsénico.

E. Reproducción

Al ser una planta con flores su reproducción es sexualmente, genera su fruto en forma de capsula y prolifera por ello. Se puede propagar y reproducir de forma artificial natural mediante la división de sus estolones que las plantas producen durante su tiempo, lo que aumenta su masa inicial en un tiempo corto y rápido (Reyes , 2012).

3.2.11. Fitorremediación

Son sistemas de tecnologías naturales que disminuyen in situ o ex situ la densidad de varios compuestos, iniciando por procesos bioquímicos ejecutados por los microorganismos y plantas relacionadas a ellas. En el cual se usan a las plantas para transformar, reducir, remover, degradar, mineralizar, estabilizar o volatilizar contaminantes (Kelley et al. 2000).

3.2.12. Métodos de la fitorremediación

Según Sepúlveda y Velasco (2002) clasifican en dos categorías:

Método Ex-situ: Necesita del muestreo de agua contaminada para su tratamiento de sitio o posterior, para luego devolver el agua tratada al sitio de estudio.

Método In-situ: Es la remediación de las aguas en el lugar contaminado. La técnica in-situ es más próspera que la técnica ex-situ debido a la disminución en costo y un impacto mínimo al ecosistema.

3.2.13. Tipos de fitorremediación

Según Carpena y Bernal (2007) clasifica los tipos de fitorremediación en los siguientes:

Fito degradación: También llamada fito transformación, basada en utilizar y seleccionar plantas con la capacidad de degradar contaminantes que absorben. En la fito degradación, las enzimas individuales que tienen algunas plantas, generan la ruptura de las moléculas de los compuestos contaminantes, transformándolas en moléculas más chicas, menos tóxicas o no tóxicas.

Rizo remediación: Se da cuando el proceso de remediación lo realiza la acción de microorganismos que radican en las raíces de la planta conocida como rizo remediación.

Fito estabilización: Consiste en el proceso donde las plantas absorben e inmovilizan a los contaminantes en su interior. Así disminuyen la biodisponibilidad de dichos contaminantes mediante la fabricación y excreción por sus raíces de compuestos químicos inactivando las sustancias tóxicas por procesos de precipitación- solidificación o adsorción y absorción.

Fito estimulación: Las plantas estimulan el proceso de desarrollo de sus microorganismos encargados de degradar a los contaminantes. Dichos microrganismos se encuentran en la raíz de la planta.

Fito extracción: La fito extracción, también llamada fito acumulación o fito secuestramiento, utiliza algas o plantas para el proceso de remoción de contaminantes en

el suelo o agua.

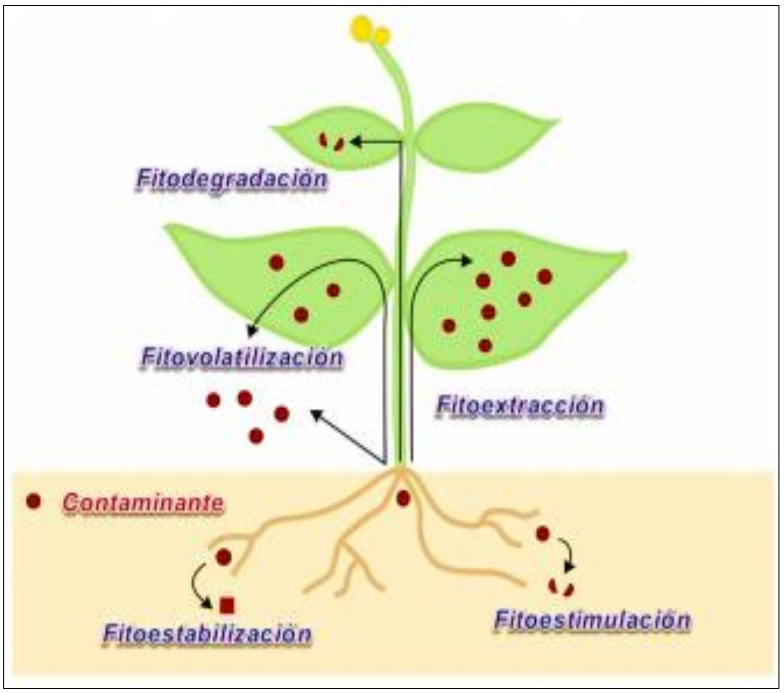
Posterior que la alga o planta haya absorbido del suelo o agua los compuestos químicos contaminantes y los haya acumulado, ellas se recolectan como biomasa y por lo general se calcinan.

Fito filtración: Se usa en el proceso de descontaminación de aguas superficiales y subterráneas. En el cual las sustancias contaminantes se absorben por las raíces o microorganismos, o pueden ser adheridas (adsorbidas) en la superficie de uno y otro.

Fito volatilización: Dicho proceso inicia cuando las aguas contaminadas son absorbidas por la raíz de la planta y se liberan transformando los contaminantes en volátil o gaseoso a la atmosfera, realizado por las hojas mediante la transpiración.

Figura 6

Tipos de fitorremediación



Nota: Extraído de Rivilla (2022)

El proceso de fitorremediación se produce cuando los distintos contaminantes que están en el suelo o agua ingresan por las plantas a través de las raíces, tallos y hojas. Es aquí cuando los contaminantes son tratados, disminuidos, extraídos, evaporados,

estabilizados o degradados. Todo ello con el fin de minimizar el impacto de dichos contaminantes en el ambiente.

3.2.14. Capacidad fitorremediadora del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

Es una macrófita frecuentemente usada en la limpieza de aguas residuales y lograr ser reutilizada.

Esta posee la cualidad de purificar las aguas contaminadas, siendo empleado habitualmente en procesos de fitorremediación de canales de agua. En consecuencia, dicha macrófita participa en diversos procesos de fito estabilización, fito volatización, rizo filtración, y fito estimulación que produce la desinfección y descontaminación de zonas acuáticas. (Vázquez, 2020)

3.2.15. ECA – Estándar de Calidad Ambiental

Los estándares de calidad ambiental fueron establecidos por el ministerio del ambiente, el cual establece los máximos valores establecidos de contaminantes al ambiente. Cuyo propósito principal es avalar la preservación de la calidad ambiental a través de la aplicación de sofisticados instrumentos de gestión ambiental y la detallada evaluación. (MINAM, 2008)

Para inspeccionar las emisiones que emiten los agentes contaminantes se han establecido el siguiente documento para agua:

- ECA para agua.

3.2.15.1. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Son aguas usadas para riego de vegetales, depende de ciertos factores como: consumo crudo o cocido, tipo de riego y posibles usos en procesos de transformación para los productos agrícolas.

Sub categoría D1: Riego de vegetales

Agua para riego no restringido

Son aguas cuya calidad es apta para uso de riego de cultivos para consumo cocidos o crudos. Dentro de ellos están los cultivos de tallo alto y corto que están en contacto directo con este tipo de agua.

Tabla *6*

Categoría 03: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO_3^--N) + Nitritos (NO_2^--N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO_2^--N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Nota: Extraído de D.S. 004-2017-MINAM – ECA de agua.

3.3. Definición de términos

1. **Humedal artificial:** Es un sistema que fito depura aguas residuales, basada en el desarrollo del cultivo de macrófitas enraizadas en una cama impermeabilizada de grava. El desarrollo de la macrófita produce interacciones biológicas, químicas y físicas por el cual el agua residual que afluye es limpiada lenta y progresivamente (Delgadillo et al. 2010).
2. **Agua residual doméstica:** Generada de los desechos humanos como: orina y heces, de la limpieza de cocina, habitaciones y aseo personal. Generalmente posee una elevada concentración de microorganismos y materia orgánica, así como materiales de limpieza ya sean detergentes, shampoos, lejías, jabones y grasas (Espigares & Perez, 1985).
3. **Fitorremediación:** Es el empleo de plantas y microorganismos capaces de realizar los siguientes procesos: degradar, filtrar, volatilizar, remover y/o estabilizar a los contaminantes (Pilon & Pilon, 2002).
4. **Jacinto de agua:** Llamado lirio acuático, reyna o flor de bora, proviene de la familia de Pontederiáceas. Cuyo nombre científico es *Eichhornia crassipes*, oriunda de regiones con un clima cálido de américa del sur. Su presencia abunda en zonas húmedas como: lagos, ríos y charcas resaltando ante todo su capacidad eficiente en la depuración y el proceso de fitorremediación de aguas residuales (Florido, 2020).
5. **Sustrato:** Es el material sólido diferente del suelo, originario del proceso residual o de síntesis orgánico o mineral el cual dentro de un contenedor ya sea pura o combinada facilita el crecimiento y enraizamiento de las raíces de la planta. Este puede beneficiar o no la nutrición mineral de las plantas (Ecured, 2021).
6. **Efluente:** Es toda mezcla o residuo sólido, líquido o gaseoso que desemboca a un cuerpo receptor (Azcarate, 2016).
7. **Grava:** Son piezas de minerales y rocas que superan 2 milímetros de longitud o

diámetro, también incluye a clastos o detritos de roca que poseen el tamaño de guijarros, bloques y gravas (Maldonado, 2021)**.**

8. **Estándar de Calidad Ambiental:** Es el nivel establecido a los parámetros biológicos, físicos y químicos y sustancias que están en el agua, suelo o aire, que no genera riesgos significativos en la salud y medio ambiente (MINAM, 2017).
9. **Flujo Subsuperficial horizontal:** Es un hoyo grande que se llena de arena y grava posteriormente cultivando con plantas al humedal. A medida que las aguas residuales recorren el sistema horizontalmente a través de los hoyos, dicho material del relleno empieza a filtrar las partículas y se produce la degradación por microorganismos a los orgánicos (Tilley et al. 2018).
10. **Riego:** El riego puede ser definido como la aplicación oportuna y uniforme de agua a la zona de raíces, para reponer el agua consumida por los cultivos entre dos aplicaciones sucesivas (PRONAMACHCS, 2004).
11. **Límite Máximo Permisible:** Es el grado de concentración y elementos de los parámetros o sustancias químicas, físicas y biológicas que caracteriza a un efluente o emisión, que al excederse produce daños a la salud, ambiente e integridad humana (Minam, 2021).
12. **Macrófita:** Son plantas o especies vegetales que se adaptan a medios acuáticos, poseen sus estructuras vegetativas (raíces, tallos y hojas) flotantes o sumergidas bajo el agua. Se caracteriza por el gran volumen de raíces adventicias. También son conocidos como excelentes indicadores naturales de la calidad del agua, debido a la susceptibilidad a cambios climáticos, físicos e hidrológicos del agua (Vázquez, 2023).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

La investigación es aplicada, según Miler (2011) “es la cual usa la experiencia del investigador y la aplica en estudios de campo y se encuentra relacionada con la investigación básica”. La finalidad es dar solución al problema en un tiempo establecido con hechos puntuales y encontrar las acciones que generan y causan el hecho, seguido a ello se centra e identifica la consecuencia.

Se resuelve la problemática de la contaminación de las aguas residuales domésticas usando como solución a los humedales artificiales con jacinto de agua en viviendas de Pachachaca baja.

Nivel o alcance de investigación

Es de tipo explicativo que está dirigida a el inicio de las causas de sucesos físicos, eventos o sociales. Cuya finalidad es explicar el origen de un fenómeno y las condiciones en las que se presentan o la causa de la relación de dos a más variables (Hernandez, 2014).

Se explica las consecuencias que produce la variable independiente (humedal artificial con jacinto de agua) sobre la variable dependiente (aguas residuales domésticas).

4.2. Ámbito temporal y espacial

Temporal

Los datos fueron tomados para el desarrollo de la tesis dentro del año 2023 con un promedio de 3 meses a partir de la aprobación del proyecto de investigación. Considerando el diseño, construcción y mantenimiento del humedal artificial para verificar la eficiencia del jacinto de agua en el tratamiento de las aguas para riego contaminadas por aguas residuales domésticas.

Espacial

Se realizó la investigación en viviendas de Pachachaca baja, ciudad de Abancay, departamento de Apurímac del año 2023. Se realizó el análisis en el lugar de 3 parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura), así como muestreo de las aguas residuales domésticas en dos etapas: al primer día (ingreso del agua al humedal) y a los 10 días del tratamiento en el humedal.

Figura 7

Delimitación de la zona de estudio de Pachachaca baja

Nota: Extraído de Google earth (2024).

Leyenda:

C: humedal artificial denominado control (C)

T1:humedal artificial denominado tratmiento 1 (T1)

T2: humedal artificial denominado tratmiento 2 (T2)

T3: humedal artificial denominado tratmiento 3 (T3)

4.3. Población y muestra

Población

Está constituida aproximadamente por 4800 L/día de aguas residuales creadas en 20 viviendas seleccionadas de Pachachaca baja de la ciudad de Abancay y distrito Apurímac. En promedio en cada vivienda se generan aproximadamente de 160 a 240 L/ día de aguas residuales domésticas que son derivados a pozos sépticos.

Muestra

La muestra está compuesta por 800 L/día de aguas residuales domésticas generadas por 4 viviendas con humedales artificiales respectivamente de Pachachaca baja, para cada punto de muestreo se usaron 8 litros (5 litros son para análisis microbiológico - parasitológico y 3 L para el análisis fisicoquímico).

Las muestras fueron tomadas en la primera etapa y en la etapa final según ECA-DS 004-2017- MINAM para su posible uso en riego de cultivos.

Muestreo

El muestreo es no probabilístico, Frederick (2018) menciona que “es debido a que no todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de formar parte de la investigación”. Debido a que la población asignada consta de 20 viviendas y es amplia, se seleccionaron a 4 viviendas que cumplen con las características necesarias en representación de todas.

Es de muestreo por conveniencia debido a que la población es grande, por ello se optó a seleccionar las muestras que están disponibles y fáciles de reclutar (Ortega, 2024).

La selección de las 4 viviendas para la construcción de humedales artificiales se debe a factores como: costo-efectividad, accesibilidad, movilidad a carretera central, cercanía para la disponibilidad y velocidad de transporte de las muestras.

4.4. Instrumentos

- **Ficha de monitoreo del jacinto de agua**

  Esta fue usada para monitorear periódicamente el crecimiento y adaptación del jacinto de agua en el humedal artificial en el periodo establecido (1, 5 y 10 días), para conocer el punto de saturación de las raíces en un tiempo de 10 días (Ver anexo 6 de ficha de monitoreo del jacinto de agua).

  En el cual se describe datos como: crecimiento de la planta en cm, color de las hojas, temperatura y pH.

- **Hojas de caracterización de parámetros físicos**

  Registro de valores de los parámetros físicos antes (en el primer día de ingreso a la etapa de pre tratamiento) y después (en el décimo día en la etapa de almacenamiento de efluente) del tratamiento para conocer el porcentaje de eficiencia del humedal artificial con *Eichhornia crassipes* en las aguas residuales domésticas (ver anexo 4 de ficha de análisis de parámetros físicos).

  Los parámetros físicos evaluados en el periodo establecido de 1 y 10 días son:

  - ✓ Temperatura (°C)
  - ✓ pH
  - ✓ Turbidez (NTU)
  - ✓ Aceites y grasas (mg/L)
  - ✓ Conductividad eléctrica (µS/cm)
  - ✓ Sólidos disueltos (mg/L)
  - ✓ Sólidos suspendidos (mg/L)

- **Hojas de caracterización de parámetros químicos**

  Registro de valores de los parámetros químicos antes (en el primer día de ingreso a la etapa de pre tratamiento) y después (en el décimo día en la etapa de almacenamiento de efluente) del tratamiento para conocer el porcentaje de eficiencia del humedal artificial con *Eichhornia crassipes* en aguas residuales domésticas (ver anexo 4 de

ficha de análisis de parámetros químicos**).**

Los parámetros químicos evaluados en el periodo establecido de 1 y 10 días son:

- ✓ DQO (mg/L)
- ✓ DBO5(mg/L)

- **Hojas de caracterización de parámetros microbiológicos y parasitológicos**

Registro de valores de los parámetros microbiológicos y parasitológicos antes (en el primer día de ingreso a la etapa de pre tratamiento) y después (en el décimo día en la etapa de almacenamiento de efluente) del tratamiento para conocer el porcentaje de eficiencia del humedal artificial con *Eichhornia crassipes* en aguas residuales domésticas (ver anexo 5: ficha de análisis de parámetros microbiológicos).

Los parámetros microbiológicos y parasitológicos evaluados en el periodo establecido de 1 y 10 días son:

- ✓ Coliformes Termo tolerantes (NML/100 ml)
- ✓ Huevos de helmintos (huevo/L)
- ✓ *Escherichia coli* (NML/100 ml)

Tabla 7

Tabla de técnicas e instrumento de recolección de datos

VARIABLE	DIMENSIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO
VI: Humedal artificial de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)	Diseño y construcción de sistema de humedal artificial	Experimentación	Ficha de monitoreo del jacinto de agua.
	Adaptación de las plantas	Observación participativa	
VD: Aguas residuales domésticas	Características físicas	Experimentación	Hoja de valores de características físicas y químicas.
	Características químicas		
	Características Microbiológicas y parasitológicas		Hoja de valores de características microbiológicas y parasitológicas.

Nota: Elaboración propia.

Técnicas

La observación participativa

Se desarrollan los datos en condiciones respectivamente bajo control por el investigador, por la manipulación de las variables, además se puede utilizar como instrumento las fichas de registro de datos (Tamayo & Silva, 2016).

Se observó y midió el efecto que posee el humedal artificial con jacinto de agua (variable independiente) sobre las aguas residuales domésticas (variable dependiente) en el proceso de limpieza.

Experimentación

Se participa activamente conforme al plan preconcebido, introduciendo cambios que modifican sistemáticamente el comportamiento del fenómeno. Dichas modificaciones se valoran cuantitativamente para analizar las repercusiones de los cambios en el fenómeno observado y ampliar así el conocimiento.

Se usó al jacinto de agua para evaluar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales domésticas con humedales artificiales controlando el tiempo de retención hidráulica, las características necesarias de la planta y el tamaño de grava necesaria para tener el resultado deseado.

4.5. Procedimientos

En esta etapa identificamos a las viviendas elegidas de la población para realizar el tratamiento de sus aguas residuales domésticas.

La cual contempla a 4 viviendas con las siguientes características:

Tabla 8

Número de viviendas para la construcción del humedal

Nº	VIVIENDAS	Nº personas	TRATAMIENTO
1	T1	2	Con plantas
2	T2	2	Con plantas
3	T3	3	Con plantas
4	Control	3	Sin plantas

Nota: Elaboración propia.

Se determinó el número de viviendas debido a la accesibilidad a la zona y cercanía a la carretera central para facilitar el transporte de las muestras. Así también según conocimiento se pudo constatar que en las viviendas hay una estadía permanente de 2 a 3 personas por vivienda.

A cada vivienda seleccionada se le tomó el cálculo de caudal de aguas residuales domésticas, dando los siguientes datos:

Tabla 9

Caudal de viviendas para la construcción del humedal

Nº	*VIVIENDAS*	*Nº de personas*	*Caudal L/día*
1	T1	2	160
2	T2	2	160
3	T3	3	240
4	Control	3	240

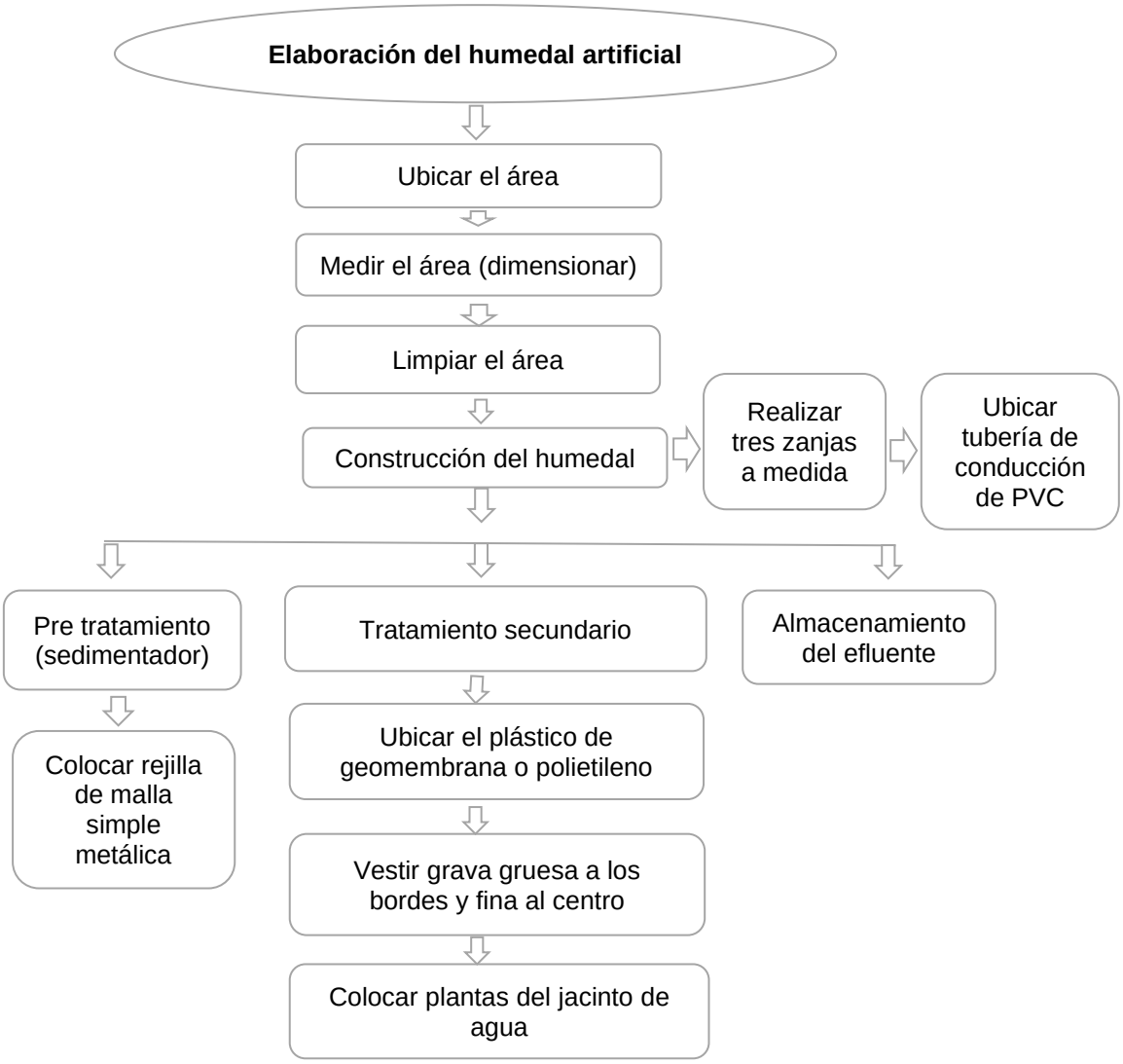
Nota: Elaboración propia.

a) **Construcción del humedal**

Para una mejor organización del proyecto se realizó un diagrama de flujo sobre todo el proceso a realizar y seguir en la construcción y diseño del humedal artificial.

Figura 8

Construcción del humedal artificial



Nota: Elaboración propia.

- **Primera etapa: ubicación y diseño de los humedales artificiales**

Humedal artificial denominado T1

Se ubica la zona para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja, con las siguientes coordenadas: 13. 665381º S y 72. 926968º W considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 9

Ubicación de vivienda denominada T1

Nota: Extraido de Google earth (2023).

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en la vivienda ubicada en Pachachaca baja considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 10

Diseño y medición de la vivienda denominada T1

Nota: Elaboración propia.

- **Cálculo del humedal:**

Para obtener una eficiencia adecuada el agua debe estar ≥ 5 días en el humedal artificial según antecedentes y eficiencia del jacinto de agua.

Considerando que son 2 personas que residen en el hogar realizamos los siguientes cálculos:

Contribución diaria (Cd) que ingresa al sistema

Cd = 2 x 80 L/día

Cd = 160 L/día

Volumen de la zona media (Vm) = Cd x 4

Vzm = 160 L/día x 5 días

Vzm = 800 L

Vzm = 0.8 m^3

Área de superficie

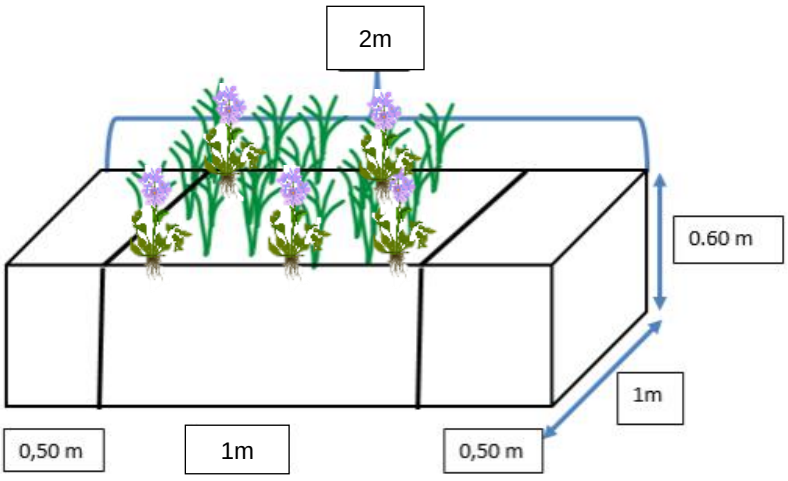
Profundidad útil del humedal (Pu) es 0.60m

As = Vzm / Pu

As = 0.8 m^3 / 0.60 m = 1.3 m^2

Figura 11

Dimensiones del humedal artificial denominado T1



Nota: Adaptado de Guerra (2022)

La proporción es de 2:1, se aprecia el ingreso y salida que mide 0.50 m respectivamente y sus dimensiones establecidas son: de largo 2m, ancho 1m, y de profundidad 0.60 m.

Tabla 10

Diseño y construcción del humedal artificial denominado T1

Diseño y estructura del humedal artificial	
Flujo	Subsuperficial horizontal
Tiempo de retención hidráulica	≥ 5 días
Relación largo y ancho	02:01
profundidad	≥ 0.60 m
pendiente	0.2
tipo de relleno	gravas
planta	Jacinto de agua

Nota: Elaboración propia

Humedal artificial denominado T2

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja, con la siguiente coordenada: 13. 664396º S y 72. 927678º W considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 12

Ubicación de vivienda denominada T2

Nota: Extraido de Google earth (2023).

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 13

Diseño y medición de la vivienda denominada T2

Nota: Elaboración propia.

- **Cálculo del humedal:**

Para obtener una eficiencia adecuada el agua debe estar ≥ 5 días en el humedal artificial según antecedentes y eficiencia del jacinto de agua.

Considerando que 2 personas residen en el hogar realizamos los siguientes cálculos:

Contribución diaria (Cd) que ingresa al sistema

Cd = 2 x 80 L/día

Cd = 160 L/día

Volumen de la zona media (Vm) = Cd x 5

Vzm = 160 L/día x 5 días

Vzm = 800 L

Vzm = 0.8 m^3

Área de superficie

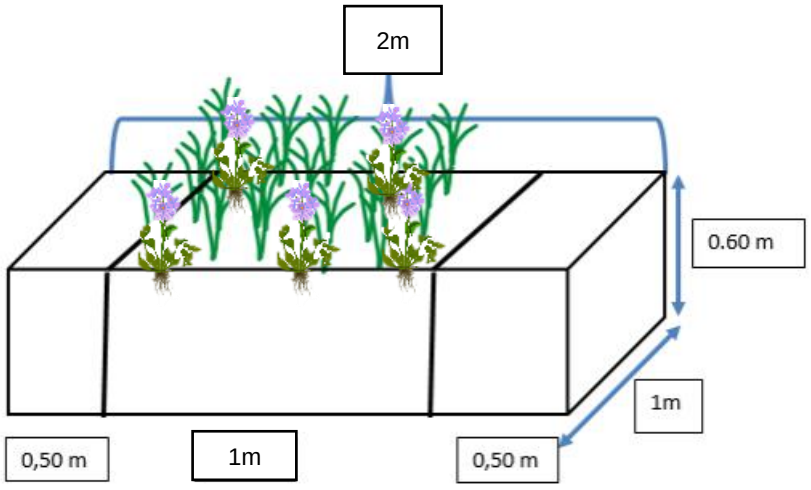
Profundidad útil del humedal (Pu), 0.60m

As = Vm / Pu

As = 0.8 m^3 / 0.60 m = 1.3 m^2

Figura 14

Dimensiones del humedal artificial denominado T2



Nota: Adaptado de Guerra (2022)

La proporción es de 2:1, se aprecia el ingreso y salida que mide 0.50 m respectivamente y sus dimensiones establecidas son: de largo 2m, ancho 1m, y de profundidad 0.60 m.

Tabla 11

Diseño y estructura del humedal artificial denominado tratamiento 2

Diseño y estructura del humedal artificial	
Flujo	Subsuperficial horizontal
Tiempo de retención hidráulica	≥ 5 días
Relación largo y ancho	02:01
profundidad	≥ 0.60 m
pendiente	0.1
Relleno	gravas
Planta	Jacinto de agua

Nota: Elaboración propia

Humedal artificial denominado T3

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja, con la siguiente coordenada: 13. 665054º S y 72. 928460º W considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 15

Ubicación de vivienda denominada T3

Nota: Extraido de Google earth (2023).

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 16

Diseño y medición de la vivienda denominada T3

Nota: Elaboración propia.

- **Cálculo del humedal:**

Para obtener una eficiencia adecuada el agua debe estar ≥ 5 días en el humedal artificial según antecedentes y eficiencia del jacinto de agua.

Considerando que 3 personas residen en el hogar realizamos los siguientes cálculos:

Contribución diaria (Cd) que ingresa al sistema

Cd = 3 x 80 L/día

Cd = 240 L/día

Volumen de la zona media (Vm) = Cd x 5

Vzm = 240 L/día x 5 días

Vzm = 1200 L

Vzm = 1.2 m^3

Área de superficie

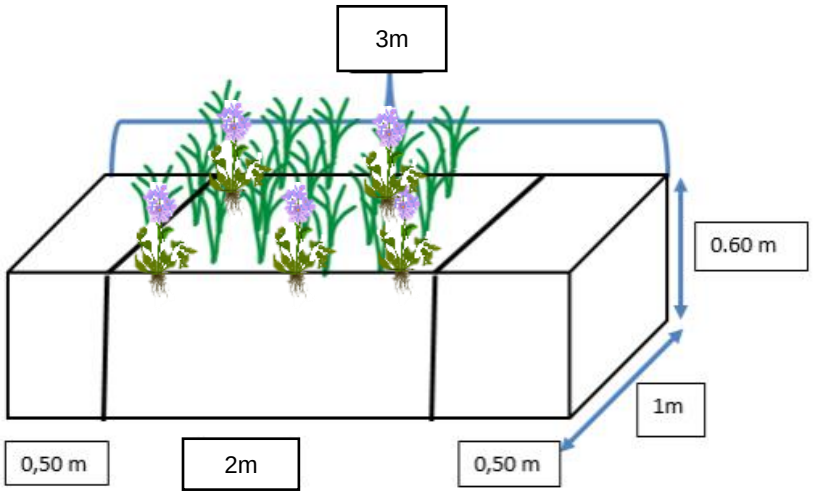
Profundidad útil del humedal (Pu) es 0.60m

As = Vm / Pu

As = 1.2 m^3 / 0.60 m = 2 m^2

Figura 17

Dimensiones del humedal artificial denominado tratamiento 3



Nota: Adaptado de Guerra (2022).

La proporción es de 3:1, se aprecia el ingreso y salida que mide 0.50 m respectivamente y sus dimensiones establecidas son: de largo 3m, ancho 1m, y de profundidad 0.60 m.

Tabla 12

Diseño y estructura del humedal artificial denominado tratamiento 3

Diseño y estructura del humedal artificial	
Flujo	Subsuperficial horizontal
Tiempo de retención hidráulica	≥ 5 días
Relación largo y ancho	03:01
profundidad	≥ 0.60 m
pendiente	0.1
Relleno	gravas
Planta	Jacinto de agua

Nota: Elaboración propia

Humedal artificial denominado: Control (C)

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja, con la siguiente coordenada: 13. 665466º S y 72. 926675º W considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 18

Ubicación de vivienda denominada control

Nota: Extraido de Google earth (2023).

Se ubicó el área para el diseño del humedal artificial en Pachachaca baja considerando la medida de la distancia de la toma del agua residual doméstica a la ubicación del humedal artificial, seguido a ello se realiza la limpieza del área a construir.

Figura 19

Diseño y medición de la vivienda denominada control

Nota: Elaboración propia.

Para obtener una eficiencia adecuada el agua debe estar ≥ 5 días en el humedal artificial según antecedentes y eficiencia del jacinto de agua.

Considerando que 3 personas viven en el hogar realizamos los siguientes cálculos:

Contribución diaria (Cd) que ingresa al sistema

Cd = 3 x 80 L/día

Cd = 240 L/día

Volumen de la zona media (Vm) = Cd x 5

Vzm = 240 L/día x 5 días

Vzm = 1200 L

Vzm = 1.2 m^3

Área de superficie

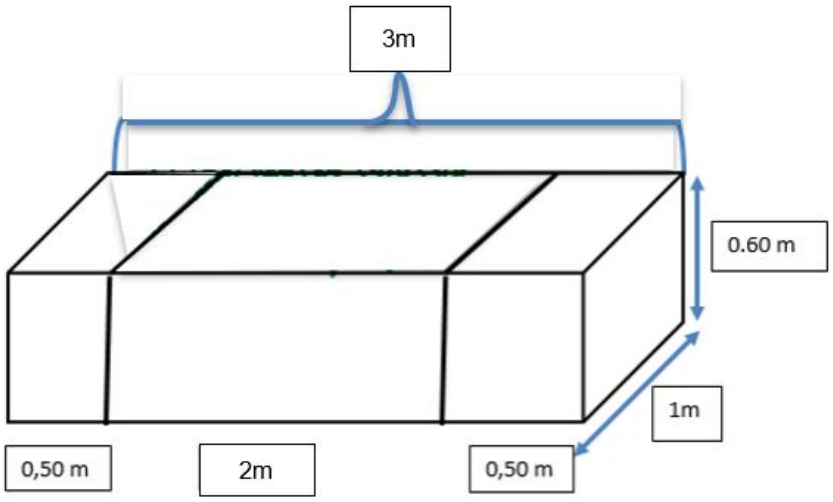
Profundidad útil del humedal (Pu) es 0.60m

As = Vm / Pu

As = 1.2 m^3 / 0.60 m = 2 m^2

Figura 20

Dimensiones del humedal artificial denominado control



Nota: Adaptado de Guerra (2022).

La proporción es de 3:1, se aprecia el ingreso y salida que mide 0.50 m respectivamente y sus dimensiones establecidas son: de largo 3m, ancho 1m, y de profundidad 0.60 m.

Tabla 13

Diseño y estructura del sistema de pozos denominado control

Diseño y estructura del humedal artificial	
Flujo	Subsuperficial Horizontal
Tiempo de retención hidráulica	≥ 5 días
Relación largo y ancho	03:01
Profundidad	≥ 0.60 m
Pendiente	0.1
Relleno	gravas
Planta	Sin vegetación

Nota: Elaboración propia.

- **Segunda etapa: construcción del humedal artificial**

Inicia la construcción del humedal artificial en las siguientes fases:

Primera fase

Excavación y graduación

Se crearon 3 zanjas con las dimensiones requeridas, con una compactación uniforme para asegurar la integridad en el recubrimiento para los 3 procesos. Los materiales usados son:

- ✓ Pico
- ✓ Pala

- ✓ Cinta métrica

Figura 21

Excavación y graduación del humedal artificial denominada T1

Nota: Elaboración propia.

Figura 22

Excavación y graduación del humedal artificial denominada T2

Nota: Elaboración propia.

Figura 23

Excavación y graduación del humedal artificial denominada T3

Nota: Elaboración propia.

Figura 24

Excavación y graduación del humedal artificial denominado C

Nota: Elaboración propia.

Segunda fase

Construcción

Las estructuras de las entradas y salidas han sido conectadas con tubos de PVC de 2” bajo tierra. La distancia de los humedales a los puntos de generación es de 50 cm y las conexiones entre cada etapa son de 15 cm. Para el segundo proceso se realizó el proceso de recubrimiento con plástico de polietileno, cada conexión de tubería ha sido sujeta a presión y adherida al plástico para evitar filtraciones. Los materiales usados son:

- ✓ Plástico de polietileno doble cara azul y negro
- ✓ Tuvo de PVC de 2”

Figura 25

Colocación del plástico polietileno doble cara azul y negro

Nota: Elaboración propia.

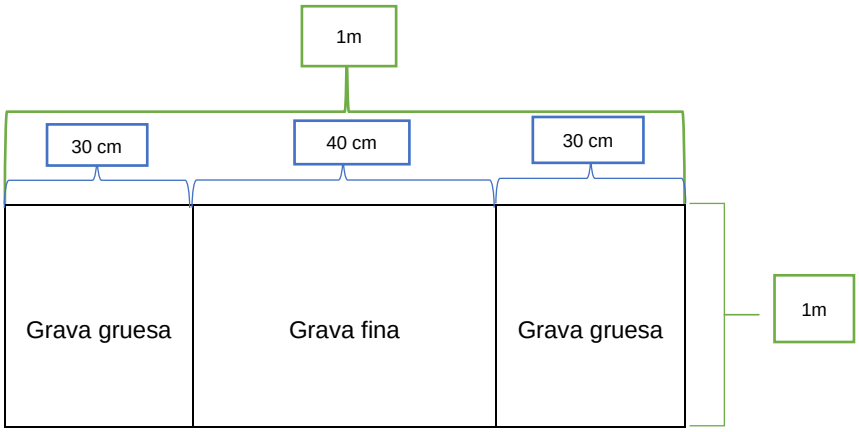
Tercera etapa: adecuación del humedal artificial

Se colocó la grava a lo largo del humedal con gravas gruesas en los bordes para evitar taponamiento de tuberías y grava fina al medio para maximizar el proceso de remoción. Los materiales usados son:

- ✓ Gravas gruesas 2 m^3
- ✓ Gravas finas 1 ½ m^3

Figura 26

Distribución de gravas gruesas y finas en humedal artificial de 1x1 en el tratamiento secundario.



Fuente: elaboración propia.

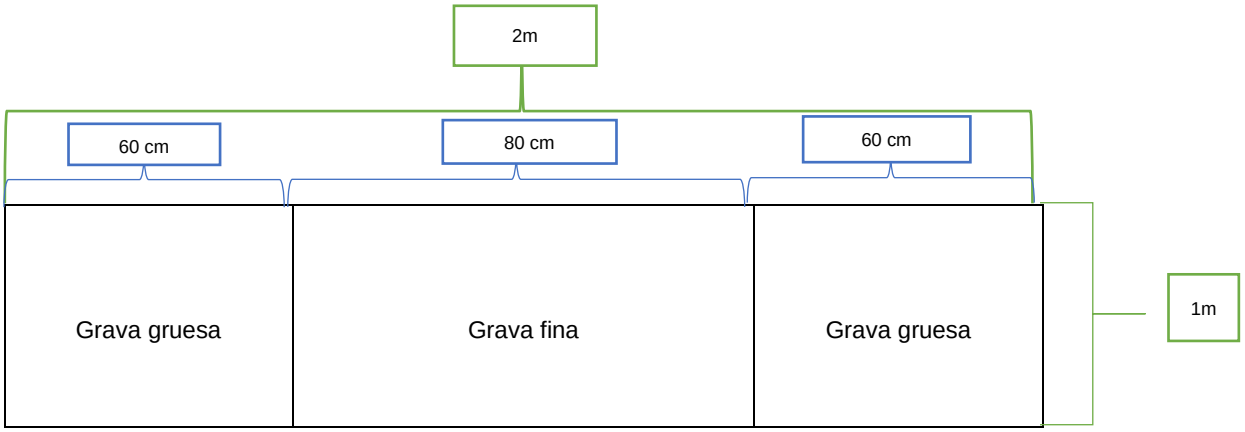
Las dimensiones del tratamiento secundario son 1m de largo, 1m de ancho y 0.60 m de profundidad.

La grava gruesa fue distribuida en los bordes con 30 cm de largo (28 palas) y la grava fina en el centro con 40 cm de largo (18 palas). En total en los dos humedales se usan 56 palas de grava gruesa y 36 palas de grava fina.

Esta distribución fue aplicada a los humedales denominados T1 y T2 los cuales tiene una dimension total de 2 m de largo x 1 de ancho con las 3 etapas del humedal artificial.

Figura 27

Distribución de gravas gruesas y finas en humedal artificial de 2 x1 en el tratamiento secundario.



Fuente: elaboración propia.

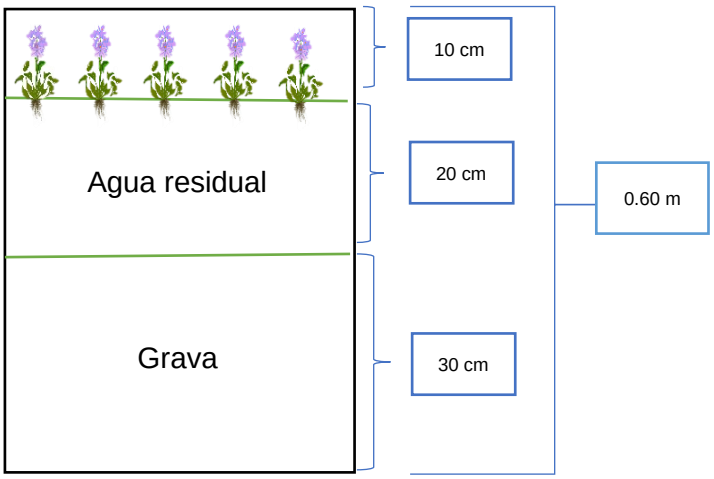
Las dimensiones del tratamiento secundario son 2m de largo, 1m de ancho y 0.60 m de profundidad.

La grava gruesa fue distribuida en los bordes con 60 cm de largo (56 palas) y la graba fina en el centro con 80 cm de largo (36 palas). En total en los dos humedales se usan 112 palas de garva gruesa y 72 palas de grava fina.

Esta distribución fue aplicada a los humedales denominados T3 y C los cuales tiene una dimension total de 3 m de largo x 1 de ancho con las 3 etapas del humedal artificial.

Figura 28

Profundidad de la grava en el humedal artificial



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la imagen se tiene una distribución de grava, agua residual y espacio libre para las plantas del jacinto de agua.

La profundidad establecida del humedal artificial es de 0.60 m en el cual establecemos que la grava tenga una altura mínima de 30 cm para la grava gruesa y fina.

Figura 29

Adecuación del humedal artificial con grava

Nota: Elaboración propia.

- **Cuarta etapa: selección del jacinto de agua para el humedal artificial**

La vegetación seleccionada cumple las siguientes características: poseer un desarrollo de cinco o seis hojas carnosas que se disponen en forma de roseta con tallo de 10-15 cm estas son las adecuadas porque el tallo obtiene oxígeno mientras sus raíces están dentro del agua.

Proceso de selección de la planta:

1. La adquisición de las plantas bebé (jancitos de agua) se dio en un vivero de la ciudad de Abancay, allí estuvieron 2 meses después de su germinación.
2. El crecimiento de estas plantas bebé se desarrolló en otros 2 meses hasta tomar un tamaño de 20 a 25 cm de largo. Inicialmente se contaron con 32 plántulas.
3. Esta planta se reproduce rápidamente a través de sus estolones, el jancito de agua se produce por división, los corredores que están debajo de la superficie del agua envían brotes que se desprenden y forman otra colonia y esta planta se duplica en 6 días.

Duplicando así la cantidad inicial a 64 plántulas aproximadamente.

4. Una vez ya desarrollada se seleccionaron 64 plantas que fueron trasladados a los humedales artificiales por el periodo establecido de 10 días.

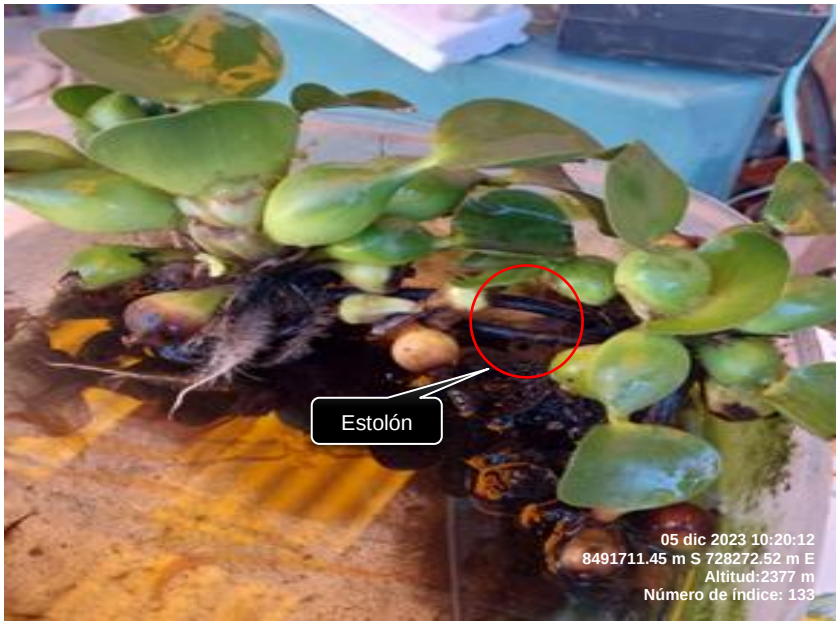
Figura 30

Crecimiento de los jacintos de agua bebe en 2 meses

Nota: Elaboración propia.

Figura 31

Reproducción del jacinto de agua por estolones



Nota: Elaboración propia.

Figura 32

Tamaño de la raíz del jacinto de agua a los 2 meses

Nota: Elaboración propia.

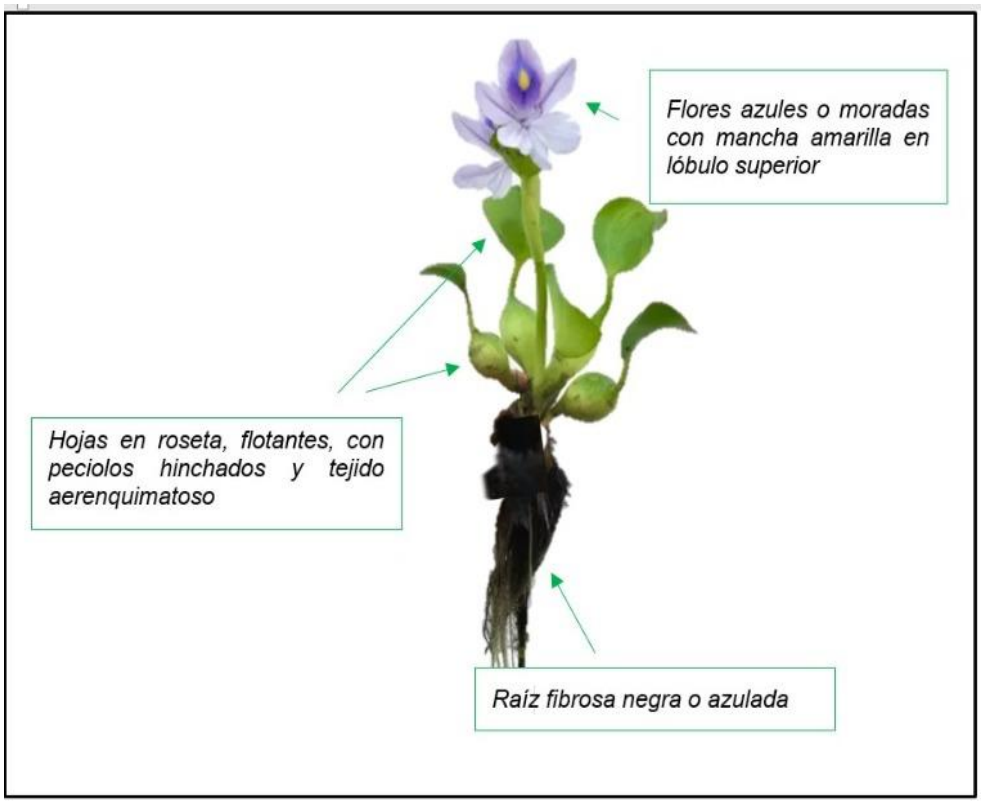
Figura 33

Tamaño de las plantas de jacinto de agua en 3 meses aptos para el uso en los humedales artificiales

Nota: Elaboración propia.

Figura 34

Características para la selección del jacinto de agua



Nota: Adaptado de “jacinto de agua – Consejería del Medio Ambiente y Ordenación”

- **Quinta etapa: ubicación de las plantas de jacinto de agua**

Para colocar y ordenar las plantas (jacinto de agua), se establecieron a una distancia de 25 cm x 25 cm, empleando la fórmula de número de plantas en una parcela.

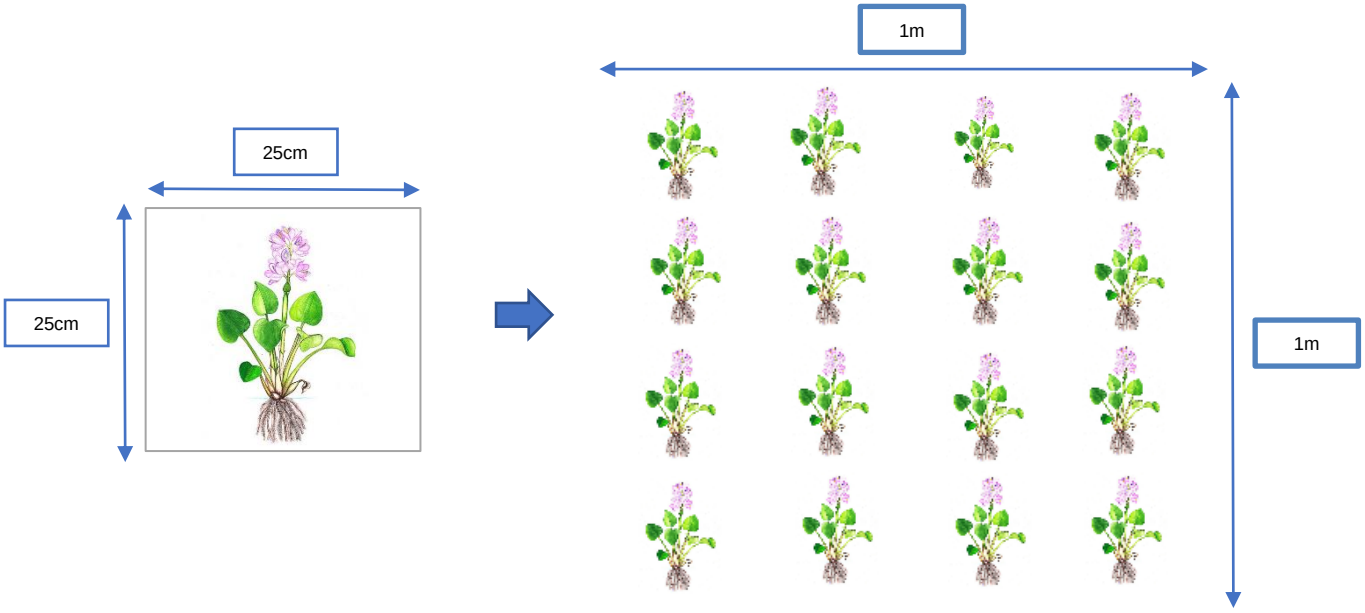
Fórmula para el cálculo de número de plantas:

$$x = \frac{\text{largo del terreno (cm)}}{25\ \text{cm}}\ x\ \frac{\text{ancho del terreno (cm)}}{25\ \text{cm}} = Nº\ de\ plantas$$

Distribución de plantas:

Figura 35

Distribución de plantas en el humedal



Nota: Adaptado de Guerra (2022).

Calculando los siguientes datos:

Tabla 14

Número de plantas por humedal

N	Largo de terreno	Ancho del terreno	Nº plantas
Tratamiento 1	1m	1m	16
Tratamiento 2	1m	1m	16
Tratamiento 3	2m	1m	32
Control	2m	1m	s/p
	Total		64

Nota: Elaboración propia.

- **Sexta etapa: ejecución y funcionamiento del humedal**

Empieza la ejecución y funcionamiento del humedal artificial con el ingreso del agua residual y su tratamiento. Para posteriormente poder recolectar la muestra del tratamiento en un tiempo establecido de 1 y 10 días para cumplir con la norma de monitoreo.

Figura 36

Funcionamiento del humedal artificial denominado T1

Nota: Elaboración propia.

Figura 37

Funcionamiento del humedal artificial denominado T2

Nota: Elaboración propia.

Figura 38

Funcionamiento del humedal artificial denominado T3

Nota: Elaboración propia.

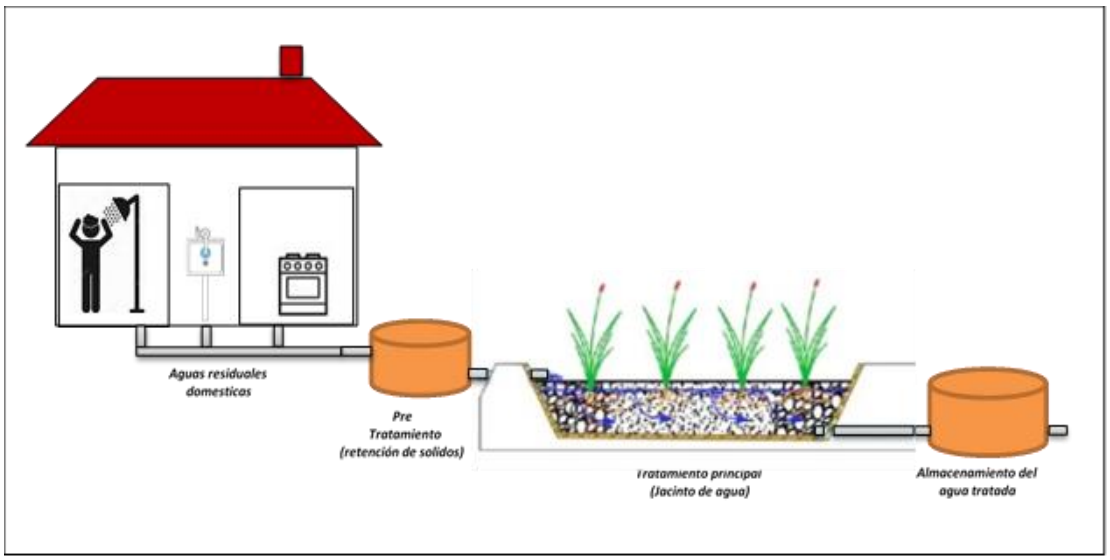
Figura 39

Funcionamiento del humedal artificial denominado C

Nota: Elaboración propia.

Figura 40

Representación del humedal artificial



Nota: Adaptado de Guerra (2022).

- **Séptima etapa: Extracción de muestras y análisis**

Se realizó la toma de muestras en dos tiempos:

Al primer día de funcionamiento del humedal artificial e ingreso de las aguas residuales domésticas en: T1, T2, T3 y C. Y al finalizar el tiempo establecido de 10 días para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Análisis fisicoquímico

Para el muestreo de los parámetros fisicoquímicos se usó el protocolo establecido por el laboratorio de calidad de agua, suelos y aire de la Universidad Tecnológica de los Andes de la facultad de ingeniería ambiental y recursos naturales.

Los materiales usados son:

- ✓ Cooler
- ✓ 4 botellas de polietileno de 1000 ml
- ✓ 4 botellas de vidrio de 250 ml
- ✓ Guantes
- ✓ Bata

- ✓ Vaso precipitado de 100 ml
- ✓ Ice pack

Figura 41

Materiales de muestreo de parámetros fisicoquímicos

Nota: Elaboración propia

En el cual se realizó el análisis in-situ de 3 parámetros: pH, temperatura y conductividad eléctrica. Los materiales usados son:

- ✓ pH metro
- ✓ Conductímetro
- ✓ Pipetas de plástico
- ✓ Agua destilada
- ✓ Termómetro

Figura 42

Materiales de muestreo de parámetros fisicoquímicos

Nota: Elaboración propia

Análisis microbiológico y parasitológico

Para el muestreo de los parámetros microbiológicos y parasitológicos se usó el protocolo establecido por el laboratorio ambiental de la Dirección Regional de Salud (DIRESA).

Los materiales usados son:

- ✓ 4 botellas de polietileno de 4 L
- ✓ 4 envases de vidrio 250 ml
- ✓ Cooler
- ✓ Ice packs

Figura 43

Materiales de muestreo de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Nota: Elaboración propia

Todos los materiales estuvieron previamente esterilizados y sellados, iniciado el muestreo se procedió al rotulado y etiquetado de cada muestra según lo establecido por el laboratorio ambiental de la DIRESA, así como el llenado de la cadena de custodia para ambos laboratorios.

Figura 44

Muestreo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Nota: Elaboración propia.

Figura 45

Rotulado y etiquetado de muestras de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Nota: Elaboración propia

Figura 46

Rotulado y etiquetado de muestras de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Nota: Elaboración propia

Con las muestras tomadas, rotuladas y etiquetadas se procedió al traslado a los dos laboratorios para sus análisis respectivos con sus cadenas de custodia.

Figura 47

Conservación y traslado de muestras de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Nota: Elaboración propia.

- **Octava etapa: análisis de resultados**

Los análisis fisicoquímicos del primer y último día de tratamiento fueron realizados en el laboratorio de calidad de agua, aire y suelo de la escuela profesional de ingeniería ambiental. Se analizaron los parámetros ex situ como son: turbidez, sólidos suspendidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, DBO5 y DQO (ver anexo 8: Informe de laboratorio de parámetros fisicoquímicos).

Cada análisis fue realizado 3 veces para verificar la certeza de los resultados obtenidos, las muestras fueron examinadas inmediatamente sin conservantes, sim embargo para la determinación del DQO se conservaron con 1 ml de ácido sulfúrico.

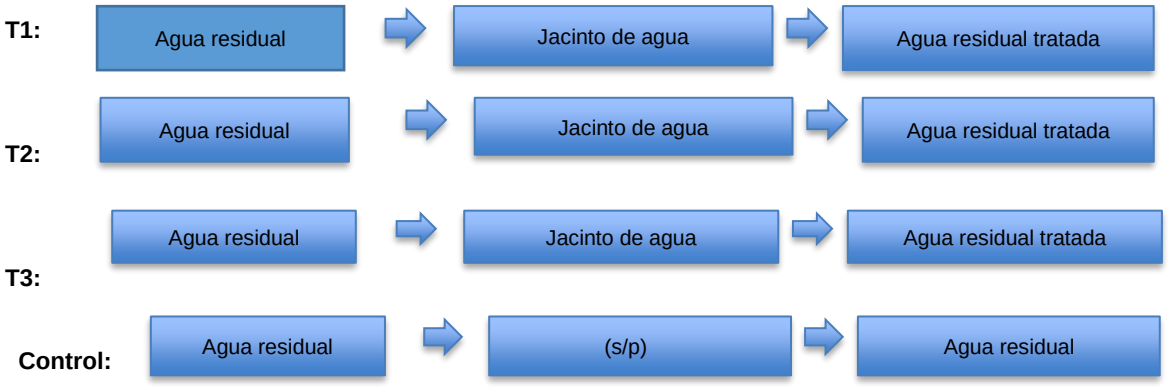
Los análisis microbiológicos y parasitológicos del primer y último día fueron realizados en el laboratorio ambiental de la Dirección Regional de Salud – DIRESA el cual usa métodos de análisis establecidos y este certificado por INACAL-DA asegurando sus resultados.

a. Tratamientos

Para la presente investigación está contemplada 3 viviendas en tratamiento y 1 vivienda de control los cuales son:

Figura 48

Tratamientos con y sin plantas



Nota: Elaboración propia.

4.6. Análisis de datos

Los resultados obtenidos se analizaron mediante el uso de estadística descriptiva porque empleamos gráficos de barras. Para ello se hizo uso del programa Microsoft Excel; para la programación de cuadros y tablas brindando seguridad en el procesamiento de datos y resultados analizados por gráficos para su mejor interpretación.

Presentación de datos obtenidos del efluente sobre los parámetros fisicoquímicos

- **Temperatura**

Tabla 15

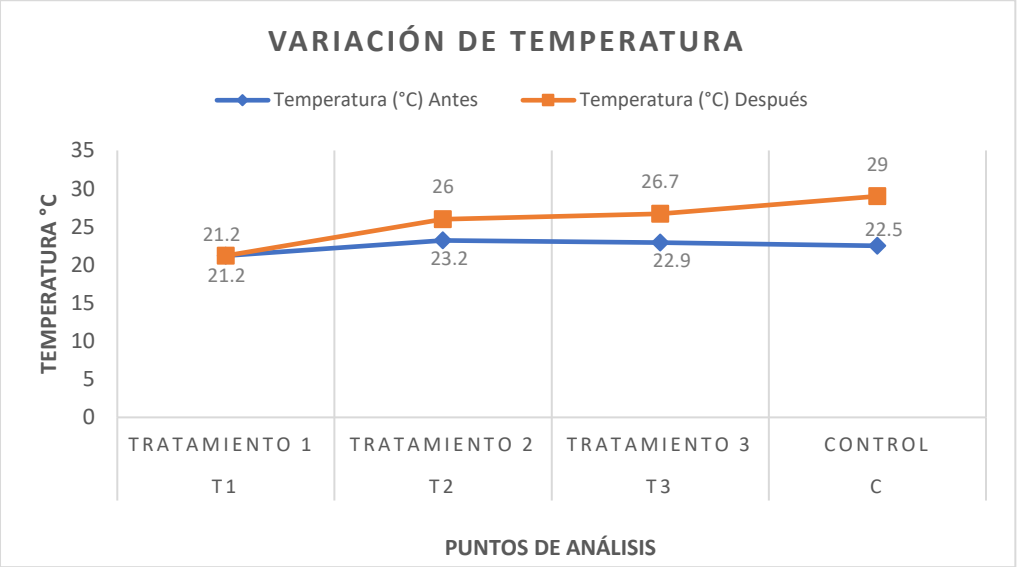
Datos de temperatura

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Temperatura (°C)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	21.2	21.2
T2	Tratamiento 2	23.2	26
T3	Tratamiento 3	22.9	26.7
C	Control	22.5	29

Nota: Elaboración propia.

Figura 49

Variación de temperatura



Nota: Elaboración propia

Como se aprecia en el gráfico la variación de la temperatura varía de 21.2 °C a 29 °C en los humedales artificiales que se encuentran en diferentes puntos de Pachachaca baja.

La temperatura es elevada y constante debido a la ubicación del sector.

- **pH**

Tabla 16

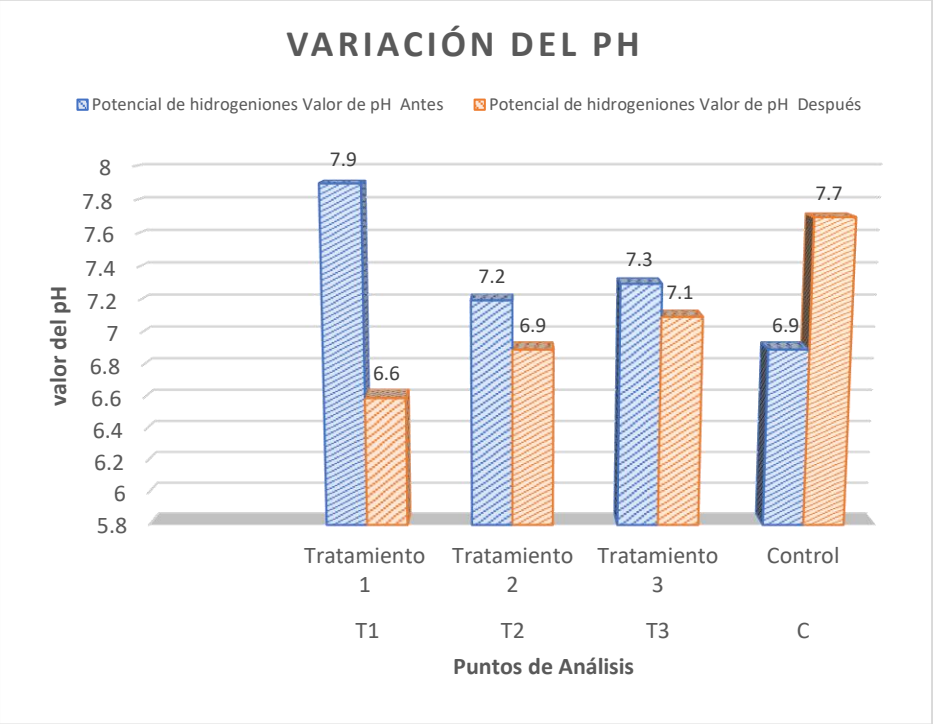
Datos de pH (antes y después)

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Potencial de hidrogeniones	
		Valor de pH	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	7.9	6.6
T2	Tratamiento 2	7.2	6.9
T3	Tratamiento 3	7.3	7.1
C	Control	6.9	7.7

Nota: Elaboración propia.

Figura 50

Variación del pH



Nota: Elaboración propia

Se ve la variación de 6.6 (ligeramente acido) a 7.9 (ligeramente alcalino) ambas muy cercanas a neutro. La macrófita como el jacinto de agua vive en medios alcalinos (de pH 7 a 8.5), en el cual posee mayor probabilidad de alargar el tiempo de vida. Pérez (2002)

Turbidez

Tabla 17

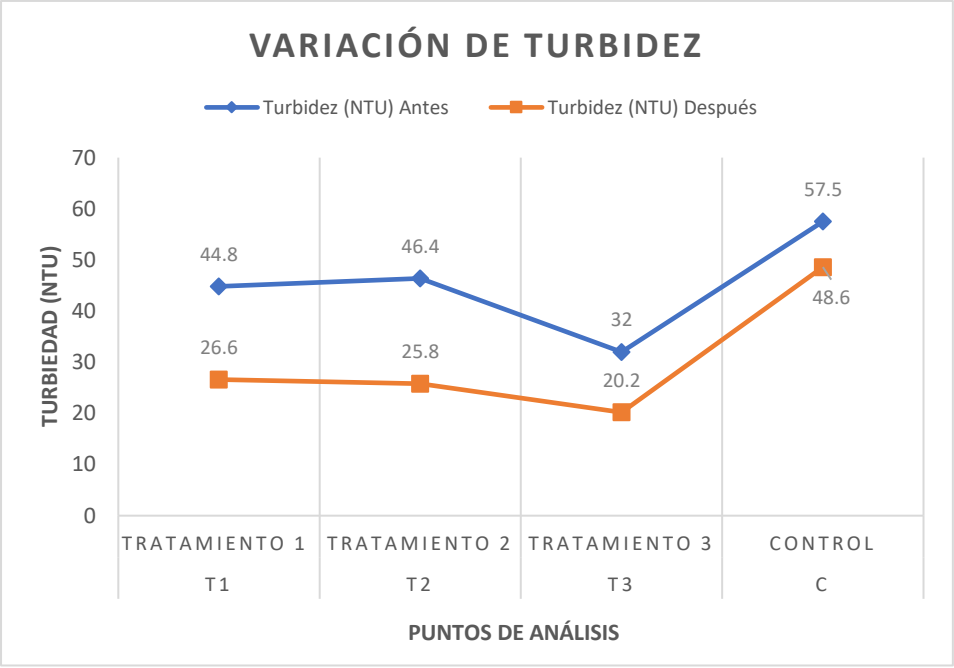
Datos de turbidez (antes y después)

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Turbidez (NTU)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	44.8	26.6
T2	Tratamiento 2	46.4	25.8
T3	Tratamiento 3	32	20.2
C	Control	57.5	48.6

Nota: Elaboración propia.

Figura 51

Variación de turbidez



Nota: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos en los humedales artificiales denominados (C, T1, T2 y T3), control presenta el grado de turbiedad en NTU antes del ingreso al pozo sin plantas de 57.5 y el grado de NTU a la salida de los pozos demuestra un descenso leve a 48.6.

En los humedales artificiales denominados T1, T2 y T3 antes del ingreso al tratamiento se evidencia un grado de turbiedad de 46.4 (más alto) y una disminución en el grado de turbiedad de 20.2 (más bajo) al final del tratamiento. Concluyendo así que, a

mayor grado de sólidos suspendidos en el agua, menor será el grado transparencia que existirá en ella. Por lo tanto, a menor turbidez mayor calidad del agua.

Solidos Disueltos Totales

Tabla 18

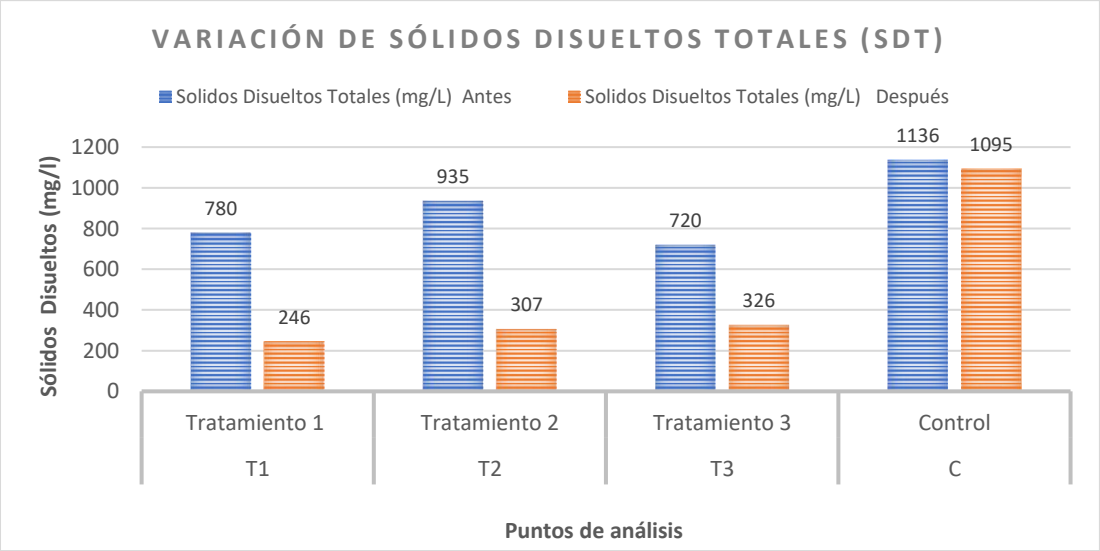
Datos de sólidos disueltos totales (antes y después)

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	780	246
T2	Tratamiento 2	935	307
T3	Tratamiento 3	720	326
C	Control	1136	1095

Nota: Elaboración propia.

Figura 52

Variación de sólidos disueltos totales



Nota: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en los humedales artificiales el grado de concentración de solidos disueltos en C (control) no disminuye significativamente debido a que no tenía presencia del jacinto de agua a comparación con los otros 3 humedales que si poseían el jacinto de agua (T1, T2 y T3), se observa una disminución significativa de: 935 mg/L (valor más alto) antes del tratamiento a 246 mg/L (valor más bajo) después del tratamiento.

Solidos suspendidos totales

Tabla 19

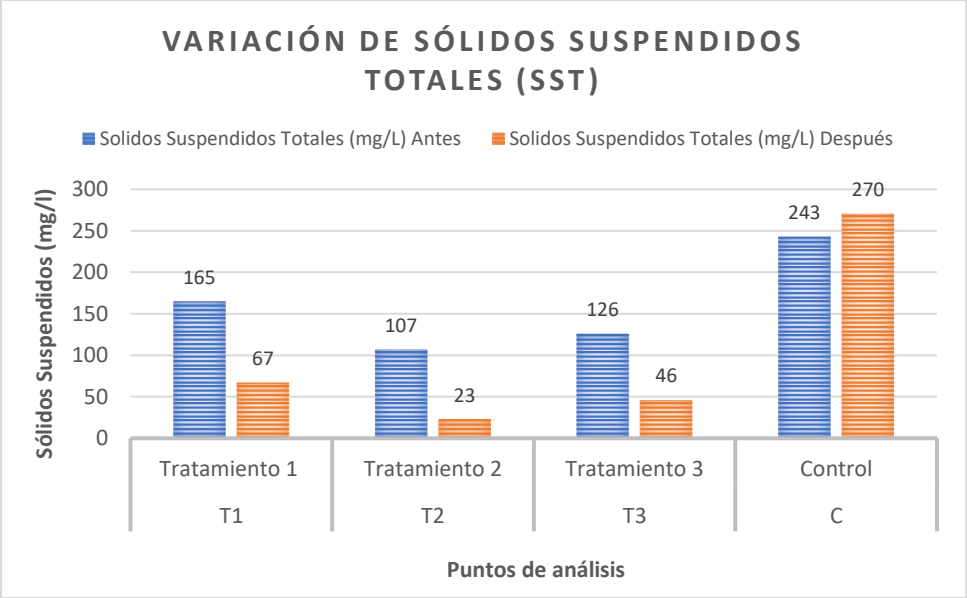
Resultados de sólidos suspendidos totales (después)

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	165	67
T2	Tratamiento 2	107	23
T3	Tratamiento 3	126	46
C	Control	243	270

Nota: Elaboración propia.

Figura 53

Variación de sólidos suspendidos totales



Nota: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en los humedales artificiales el grado de concentración de sólidos suspendidos en C (control) muestra un ligero aumento debido a que no tenía presencia del jacinto de agua a comparación con los otros 3 humedales que si poseían el jacinto de agua (T1, T2 y T3), se observa una disminución significativa de: 165 mg/L (valor más alto) antes del tratamiento a 23 mg/L (valor más bajo) después del tratamiento.

Conductividad eléctrica

Tabla 20

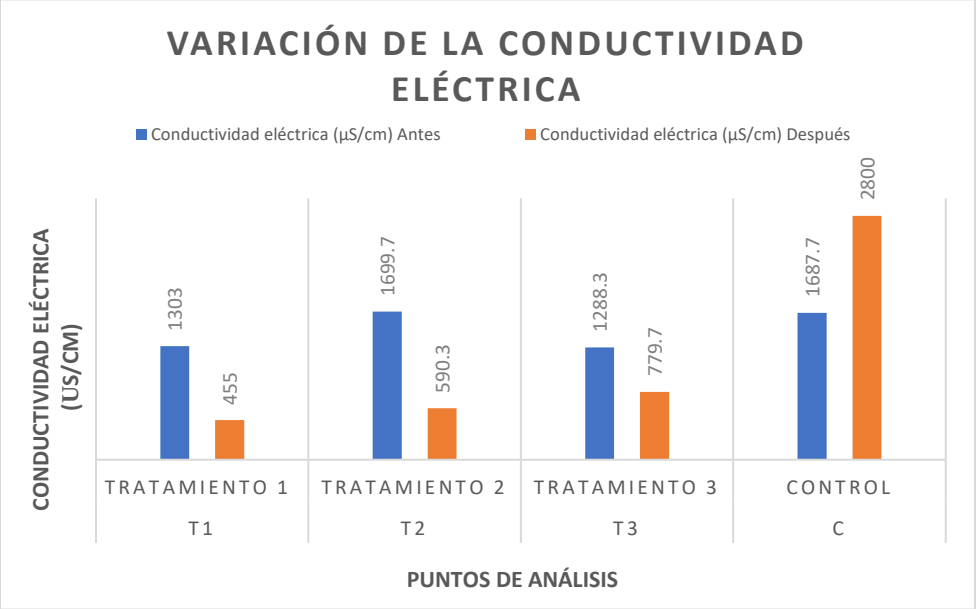
Resultados de conductividad eléctrica

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Conductividad eléctrica (µS/cm)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	1303	455
T2	Tratamiento 2	1699.7	590.3
T3	Tratamiento 3	1288.3	779.7
C	Control	1687.7	2800

Nota: Elaboración propia.

Figura 54

Variación de conductividad eléctrica



Nota: Elaboración propia

Según los datos obtenidos de los humedales artificiales de Pachaca baja la conductividad eléctrica en C (Control) aumenta significativamente debido a la alta concentración de sólidos disueltos mostrando un incremento de 1687.7 µs/cm a 2800 µs/cm eutrofizando el agua residual por la falta del jacinto de agua y la retención de 10 días.

En los humedales (T1, T2 y T3) se observa una disminución de conductividad

eléctrica que va de 1699.7 µs/cm (antes del tratamiento) a 455 µs/cm (después del tratamiento) evidenciando una disminución significativa.

- **Demanda bioquímica de oxígeno DBO_5**

Tabla 21

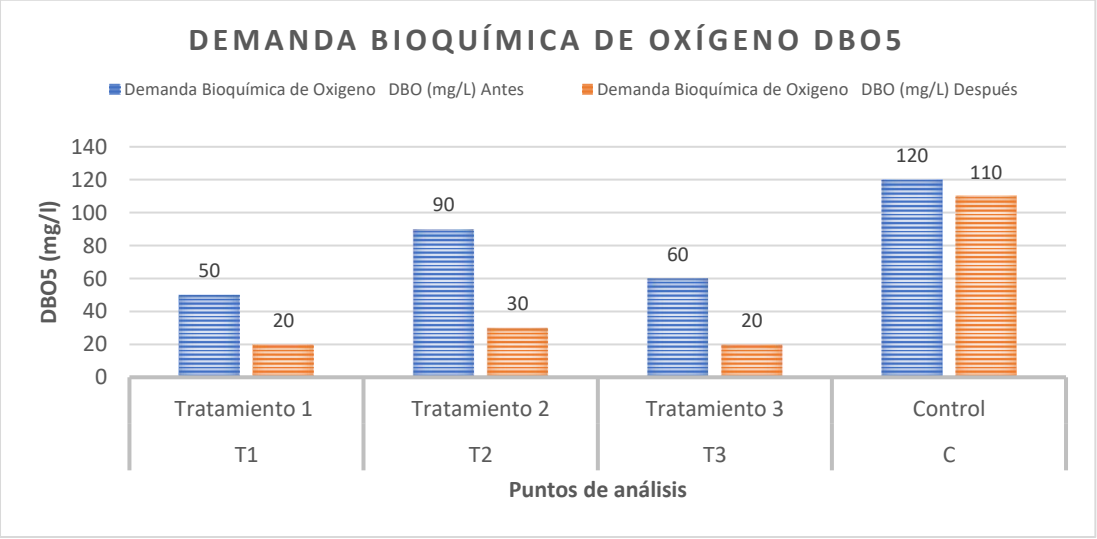
Resultados de la demanda bioquímica de oxígeno

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Demanda Bioquímica de Oxigeno DBO (mg/L)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	50	20
T2	Tratamiento 2	90	30
T3	Tratamiento 3	60	20
C	Control	120	110

Nota: Elaboración propia.

Figura 55

Variación de DBO5



Nota: Elaboración propia

La variación del DBO5 en los humedales artificiales (T1, T2 y T3) muestra una disminución moderada y significativa de: 90 mg/L (más elevada) a 20 mg/L (más baja).

Al contrario, control (c) presenta una leve disminución de 120 mg/l a 110 mg/l esto muestra el nivel elevado de contaminación del agua, el cual no es apto para riego. Debido

a que control no tuvo la presencia del jacinto de agua por lo tanto no hubo procesos de reducción de contaminantes.

- **Demanda química de oxigeno**

Tabla 22

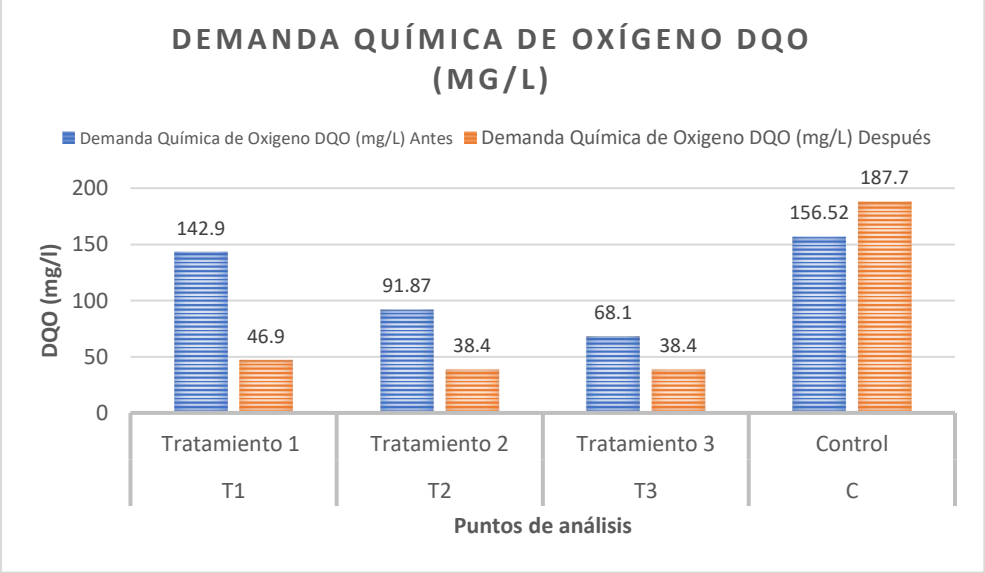
Resultados de la demanda química de oxígeno

Puntos de muestreo	Nombre del punto de muestreo	Demanda Química de Oxigeno DQO (mg/L)	
		Antes	Después
T1	Tratamiento 1	142.9	46.9
T2	Tratamiento 2	91.87	38.4
T3	Tratamiento 3	68.1	38.4
C	Control	156.52	187.7

Nota: Elaboración propia.

Figura 56

Variación de DQO



Nota: Elaboración propia

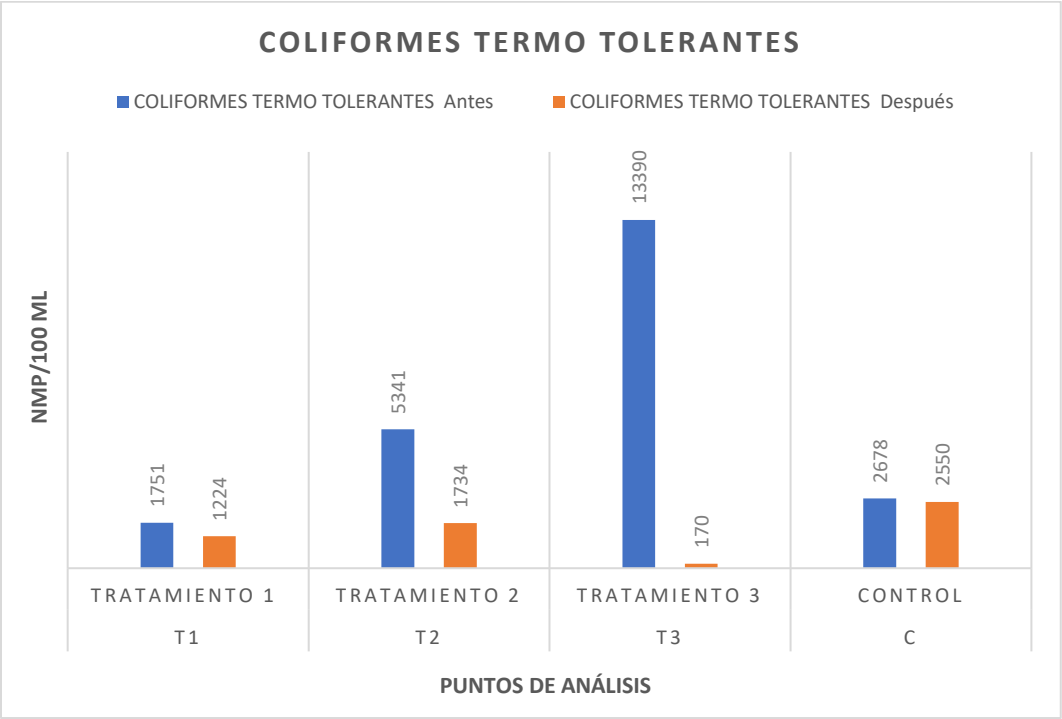
La variación del DQO en los humedales artificiales (T1, T2 y T3) muestra una disminución moderada a significativa de: 142.9 mg/L (antes del tratamiento) a 38.4 mg/L (después del tratamiento). Esto nos da a conocer que el nivel de contaminación por la concentración de materia presente en ella es bajo.

En control (c) se observa un aumento del nivel de DQO de: 156.52 mg/L (antes del tratamiento) a 187.7 mg/L (después del tratamiento). Debido a la presencia de materia en el agua indicando un nivel de contaminación elevada.

Resultados de los valores del efluente de parámetros microbiológicos

Figura 57

Variación de Coliformes termo tolerantes

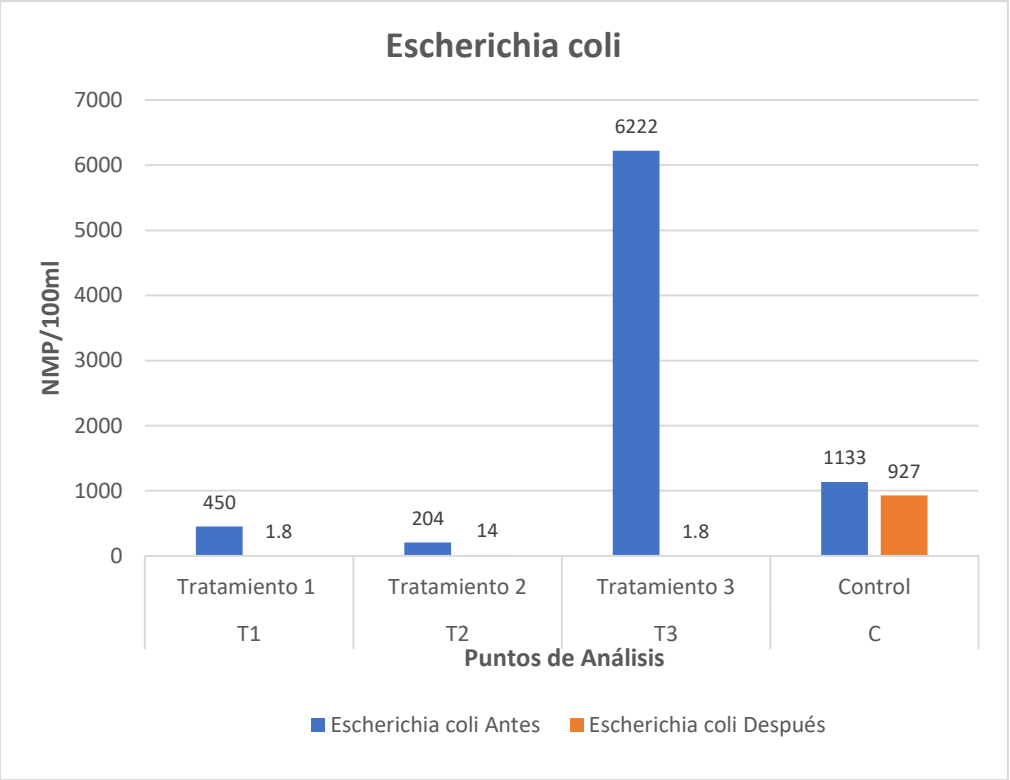


Nota: Elaboración propia

La variación de los coliformes termo tolerantes en el sistema denominado control (c) presenta un ligero descenso en los valores a diferencia de los humedales denominado: T1, T2 y T3 se puede observar que va en un rango de 13390 NMP/100 ml a una disminución significativa de 170 NMP/100 ml.

Figura 58

Variación de Escherichia coli



Nota: Elaboración propia

La variación de la Escherichia coli en el sistema denominado control (c) se observa que va de 1133 NMP/100 ml a 927 NMP/100 ml con una disminución leve. En los humedales artificiales denominados T1, T2 y T3 va en un rango de 6222 a 1.8 demostrando una reducción significativa.

4.7. Consideraciones éticas

El presente trabajo esta establecido en el código de ética; resolución de consejo universitario N°062-2020-UTEA-CU, con oficio N°022-2020-UTEA-VRI, de fecha 16 de enero del 2020 del vicerrectorado de investigación que solicita ratificación de la resolución de vicerrectorado de investigación N°011-2020-UTEA-VRI, del 16 de enero de 2020.

El proyecto de tesis respeta la autoridad de los autores con las fuentes citadas y sigue las pautas proporcionadas por ellos, todas las citas textuales están en conformidad con las normas APA, se implementó un sistema de humedal artificial capaz de brindar una alternativa eficiente y rentable para el tratamiento de las aguas residuales, estos sistemas ofrecen beneficios ambientales, como la eliminación de contaminantes y la conservación de la biodiversidad, así como beneficios sociales, como el abastecimiento de agua para el riego, el consumo y la creación de empleo en las comunidades locales.

El proceso de recolección de datos, procedimientos, análisis y determinación del área cuentan con la adecuada descripción garantizando la legitimidad de la investigación.

Al terminar el proceso de fitorremediación la especie vegetal utilizada fue incinerada de forma controlada.

Por último, se realizó el uso del turnitin para evitar niveles de similitud en las citas verificando la originalidad del trabajo realizado.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

Tabla 23

Sistema de humedal realizado con vegetación denominado: T1

		T 1		
PARÁMETROS	**UNIDADES**	**Primer reporte Afluente**	**Segundo reporte efluente**	**% de remoción**
		FÍSICO-QUÍMICOS		
T°	(°C)	21.2	21.2	-----
pH	-------	7.9	6.6	-----
Turbidez	(NTU)	44.8	26.6	40.63%
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	165	67	59.39%
Sólidos Disueltos Totales	(mg/L)	780	246	68.46%
Conductividad eléctrica	(µS/cm)	1303	455	65.08%
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	(mg/L)	50	20	60.00%
Demanda Química de Oxígeno DQO	(mg/L)	142.91	46.9	67.18%
		MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1751	1224	30%
Escherichia coli	NMP/100 ml	450	<1.8	100%

Nota: Elaboración propia

Según la tabla del humedal denominado T1 presenta porcentajes de remoción significativos con respecto a los valores iniciales que se obtuvieron al ingreso al humedal artificial y finales a los 10 días del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Se atribuye estos resultados a las raíces fibrosas del jacinto de agua con la correcta interacción de los microorganismos encargados de la descontaminación de los contaminantes y la presencia de la grava gruesa y fina que participan en el proceso de limpieza del agua.

Con respecto a parámetros fisicoquímicos T1 muestra porcentajes de remoción que ascienden de 40.63% a 68.46% demostrando porcentajes de remoción moderados.

Correspondiente a los parámetros microbiológicos los porcentajes de remoción ascienden de 30% al 100% demostrando así un nivel de remoción significativos.

Tabla 24

Sistema de humedal realizado con vegetación denominado: T2

T2				
PARÁMETROS	**UNIDADES**	**Primer reporte afluente**	**Segundo reporte Efluente**	**% de remoción**
		FÍSICO-QUÍMICOS		
T°	(°C)	23.2	26	---
pH	---------	7.2	6.9	---
Turbidez	(NTU)	46.4	25.8	44.40%
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	107	23	78.50%
Sólidos Disueltos Totales	(mg/L)	935	307	67.17%
Conductividad eléctrica	(µS/cm)	1699.7	590.3	65.27%
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	(mg/L)	90	30	66.67%
Demanda Química de Oxígeno DQO	(mg/L)	91.872	38.4	58.20%
		MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	4998	1734	65%
Escherichia coli	NMP/100 ml	204	14	93%

Nota: Elaboración propia

Como se observa en el sistema de humedal denominado T2 presenta porcentajes significativos en el proceso de remoción con respecto a los valores iniciales que se obtuvieron al ingreso al humedal artificial y finales a los 10 días del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Se atribuye estos resultados a las raíces fibrosas del jacinto de agua con la correcta interacción de los microorganismos encargados de la descontaminación de los contaminantes y la presencia de la grava gruesa y fina que participan en el proceso de limpieza del agua.

Con respecto a parámetros fisicoquímicos T2 muestra porcentajes de remoción que ascienden de 44.40% a 78.50% demostrando porcentajes de remoción moderados. Correspondiente a los parámetros microbiológicos los porcentajes de remoción ascienden de 65% al 93% demostrando así un nivel de remoción significativos.

Tabla 25

Sistema de humedal realizado con vegetación denominado: T3

T3				
PARÁMETROS	**UNIDADES**	**Primer reporte afluente**	**Segundo reporte efluente**	**% de remoción**
FÍSICO-QUÍMICOS				
T°	(°C)	22.9	26.7	---
pH	---------	7.3	7.1	---
Turbidez	(NTU)	32	20.2	36.88%
Sólidos Suspendidos Totales	(mg/L)	126	46	63.49%
Sólidos Disueltos Totales	(mg/L)	720	326	54.72%
Conductividad eléctrica	(µS/cm)	1288.3	779.7	39.48%
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	(mg/L)	60	20	66.67%
Demanda Química de Oxígeno DQO	(mg/L)	68.1	38.4	43.61%
MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	13390	170	99%
Escherichia coli	NMP/100 ml	6222	<1.8	100%

Nota: Elaboración propia

Como se observa en el sistema de humedal denominado T3 presenta porcentajes significativos en el proceso de remoción con respecto a los valores iniciales que se obtuvieron al ingreso al humedal artificial y finales a los 10 días del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Se atribuye estos resultados a las raíces fibrosas del jacinto de agua con la correcta interacción de los microorganismos encargados de la descontaminación de los

contaminantes y la presencia de la grava gruesa y fina que participan en el proceso de limpieza del agua.

Con respecto a parámetros fisicoquímicos T3 muestra porcentajes de remoción que ascienden de 36.88% a 66.67% demostrando porcentajes de remoción moderados. Correspondiente a los parámetros microbiológicos los porcentajes de remoción ascienden de 99% al 100% demostrando así un nivel de remoción significativos.

Tabla 26

Sistema realizado sin vegetación denominado: control (C)

Control				
PARÁMETROS	**UNIDADES**	**Primer reporte afluente**	**Segundo reporte efluente**	**% de remoción**
FÍSICO-QUÍMICOS				
Temperatura	°C	22.5	29	--
pH	-------	6.9	7.7	--
Turbidez	NTU	57.5	48.6	15.48%
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	243	270	-11%
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1136	1095	4%
Conductividad eléctrica	µS/cm	1687.7	2.800	-65.91%
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	120	110	8%
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	156.52	187.7	-20%
MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	2678	2550	5%
Escherichia coli	NMP/100 ml	1133	927	18%

Nota: Elaboración propia

Como se observa en el sistema de humedal denominado C presenta porcentajes de disminución leves en el proceso de remoción con respecto a los valores iniciales que se obtuvieron al ingreso al sistema de pozas y finales a los 10 días del tratamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Con respecto a parámetros fisicoquímicos control (c) muestra porcentajes de remoción que ascienden de 4% al 15.48% demostrando porcentajes de remoción leves.

Correspondiente a los parámetros microbiológicos los porcentajes de remoción ascienden del 5% al 18% demostrando así un nivel de remoción leve.

Se atribuye estos resultados a la ausencia del jacinto de agua y ausencia de los microorganismos encargados de la descontaminación de los contaminantes. Sin embargo, la presencia de la rejilla de malla metálica simple en el pre tratamiento, la grava gruesa y fina en el sistema de humedal artificial influyó en la disminución de contaminantes, así también la interacción de parámetros fisicoquímicos importantes como el calor y la elevada temperatura.

Tabla 27

Porcentajes de remoción del sistema de humedales artificiales de las 4 viviendas

PARÁMETROS	**UNIDADES**	**% de remoción**			
		FÍSICO-QUÍMICOS			
HUMEDALES		**C**	**T1**	**T2**	**T3**
Temperatura	°C	--	-----	---	---
pH	-------	--	-----	---	---
Turbidez	NTU	15.48%	40.63%	44.40%	36.88%
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	-11%	59.39%	78.50%	63.49%
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	4%	68.46%	67.17%	54.72%
Conductividad eléctrica	µS/cm	-65.91%	65.08%	65.27%	39.48%
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	8%	60.00%	66.67%	66.67%
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	-20%	67.18%	58.20%	43.61%
		MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	5%	30%	65%	99%
Escherichia coli	NMP/100 ml	18%	100%	93%	100%

Nota: Elaboración propia

En la tabla se realiza la comparación de los porcentajes de remoción obtenidos durante el proceso de remoción de contaminantes de los humedales artificiales en el periodo establecido de 1 a 10 días. El grupo de humedales artificiales denominados: T1, T2 y T3 con la presencia del jacinto de agua poseen un correcto funcionamiento de los microorganismos encargados del proceso de descontaminación de contaminantes con

porcentajes de remoción que van de 36.88% a 78.50% en parámetros fisicoquímicos y 30% al 100% en parámetros microbiológicos. Demostrando así la capacidad significativa y eficiente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con jacinto de agua en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

A diferencia de control (c) que tuvo porcentajes de remoción leves debido a la ausencia del jacinto de agua los cuales van de 4% al 15.48% en parámetros fisicoquímicos esto se atribuye a la presencia de malla metálica simple en el pre tratamiento, gravas gruesas y finas en el sistema secundario. Correspondiente a los parámetros microbiológicos hubo un porcentaje de remoción del 5% al 18% el cual se atribuye a la interacción del calor y la temperatura elevada y constante de la zona.

Es así que la diferencia de porcentajes de remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas del grupo T1, T2 y T3 con la presencia del jacinto de agua y control sin el jacinto de agua. Demuestra la importancia de su uso y capacidad fitorremediadora para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Evaluación de los resultados obtenidos en los humedales artificiales con límites máximos permisibles - LMP según la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM.

Tabla 28

Evaluación de valores de T1 con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.

PARÁMETROS	UNIDADES	T1	LMP
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	21.2	<35
pH	---	6.6	6.5-8.5
Turbidez	NTU	26.6	-----
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	67	150
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	246	-----
Conductividad eléctrica	µS/cm	455	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	20	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	46.9	200
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	1224	10,000

Nota: Adaptado con LMP de “D.S. N° 003-2010-MINAM”

El sistema de humedal denominado T1 presenta resultados dentro de los valores establecidos por los LMP según la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM indicando que el sistema está funcionando de manera óptima.

Esto se atribuye a la presencia del jacinto de agua en el sistema de humedal artificial lo cual facilita el proceso de descontaminación de los contaminantes del agua residual doméstica.

Tabla 29

Evaluación de valores de T2 con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.

PARÁMETROS	UNIDADES	T2	LMP
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	26	<35
pH	---	6.9	6.5-8.5
Turbidez	NTU	25.8	- --
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	23	150
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	307	---
Conductividad eléctrica	µS/cm	590.3	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	30	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	38.4	200
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	1734	10,000

Nota: Adaptado con LMP de “D.S. N° 003-2010-MINAM”

El sistema de humedal denominado T2 presenta resultados dentro de los valores establecidos por los LMP según la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM indicando que el sistema está funcionando de manera óptima.

Esto se atribuye a la presencia del jacinto de agua en el sistema de humedal artificial lo cual facilita el proceso de descontaminación de los contaminantes del agua residual doméstica.

Tabla 30

Evaluación de valores de T3 con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.

PARÁMETROS	UNIDADES	T3	LMP
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	26.7	<35
pH	---	7.1	6.5-8.5
Turbidez	NTU	20.2	---
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	46	150
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	326	---
Conductividad eléctrica	µS/cm	779.7	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	20	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	38.4	200
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	170	10,000

Nota: Adaptado con LMP de “D.S. N° 003-2010-MINAM”

El sistema de humedal denominado T3 presenta resultados dentro de los valores establecidos por los LMP según la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM. Indicando que el sistema está funcionando de manera óptima.

Esto se atribuye a la presencia del jacinto de agua en el sistema de humedal artificial lo cual facilita el proceso de descontaminación de los contaminantes del agua residual doméstica.

Tabla 31

Evaluación de valores de control con LMP para efluentes de PTAR domésticas y municipales.

PARÁMETROS	UNIDADES	C	LMP
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	29	<35
pH	-	7.7	6.5-8.5
Turbidez	NTU	48.6	----
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	270	150
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1095	----
Conductividad eléctrica	µS/cm	2800	----
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	110	100
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	187.7	200
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	2550	10,000

Nota: Adaptado con LMP de “D.S. N° 003-2010-MINAM”

Los valores finales del sistema denominado control supera y no cumple con los LMP según la normativa D.S. N° 003-2010-MINAM, indicando que el sistema no funciona como lo deseado debido a la ausencia del jacinto de agua y solo tiene grava en el interior.

Evaluación de los resultados comparando con los ECA categoría 3: agua para riego no restringido –D.S. N°004-2017- MINAM.

Tabla 32

Evaluación de valores de T1 con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.

PARÁMETROS	UNIDADES	T1	ECA para riego no restringido
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	21.2	□3
pH	----10	6.6	6,5-8,5
Turbidez	NTU	26.6	---
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	67	---
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	246	---
Conductividad eléctrica	µS/cm	455	2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	20	15
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	46.9	40
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	1224	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	<1.8	1 000
Protozoos y helmintos paracitos	huevos/ml	0	1

Nota: Adaptado de “ECA categoría 3: agua para riego no restringido – decreto supremo N°004-2017- MINAM”

El sistema de humedal artificial denominado T1 cumple con los parámetros fisicoquímicos de: temperatura, pH y conductividad eléctrica. Sim embargo la DBO supera levemente por 5 lo establecido y la DQO supera por 6.9 el valor estándar.

Con respecto al parámetro microbiológico de coliformes termo tolerantes supera por 244 lo establecido quedando a consideración y discusión su cumplimiento con los ECA

categoría 3: agua para riego no restringido.

Tabla 33

Evaluación de valores de T2 con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.

PARÁMETROS	UNIDADES	T2	ECA para riego no restringido
FÍSICO-QUÍMICOS			
Temperatura	°C	26	□3
pH	---	6.9	6,5-8,5
Turbidez	NTU	25.8	---
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	23	---
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	307	---
Conductividad eléctrica	µS/cm	590.3	2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	30	15
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	38.4	40
MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	1734	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	14	1 000
Protozoos y helmintos paracitos	huevos/ml	0	1

Nota: Adaptado de “ECA categoría 3: agua para riego no restringido – decreto supremo N°004-2017- MINAM”

El sistema de humedal artificial denominado T2 cumple con la mayoría de parámetros fisicoquímicos de: pH, temperatura, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno.

Sim embargo la demanda bioquímica de oxígeno supera por 15 y el parámetro de coliformes termo tolerantes supera por 734 lo establecido quedando a consideración y discusión su cumplimiento con los ECA categoría 3: agua para riego no restringido – decreto supremo N°004-2017- MINAM.

Tabla 34

Evaluación de valores de T3 con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.

PARÁMETROS	UNIDADES	T3	ECA para riego no restringido
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	26.7	□3
pH	---	7.1	6,5-8,5
Turbidez	NTU	20.2	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	46	
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	326	
Conductividad eléctrica	µS/cm	779.7	2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	20	15
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	38.4	40
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	170	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	<1.8	1 000
Protozoos y helmintos paracitos	huevos/ml	0	1

Nota: Adaptado de “ECA categoría 3: agua para riego no restringido – decreto supremo N°004-2017- MINAM”

El sistema de humedal artificial denominado T3 cumple con los parámetros fisicoquímicos de: temperatura, pH, conductividad eléctrica y demanda química de oxígeno.

Sim embargo la DBO supera por 5 lo establecido. Quedando a consideración y discusión su cumplimiento con los ECA categoría 3: agua para riego no restringido.

Tabla 35

Evaluación de valores de Control con ECA categoría 3: agua para riego no restringido.

PARÁMETROS	UNIDADES	C	ECA para riego no restringido
	FÍSICO-QUÍMICOS		
Temperatura	°C	29	□3
pH	---	7.7	6,5-8,5
Turbidez	NTU	48.6	---
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	270	---
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1095	---
Conductividad eléctrica	µS/cm	2800	2500
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5	mg/L	110	15
Demanda Química de Oxígeno DQO	mg/L	187.7	40
	MICROBIOLÓGICO Y PARASITOLÓGICO		
Coliformes Termo tolerantes	NMP/100 ml	2550	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	927	1 000
Protozoos y helmintos parásitos	huevos/ml	0	1

Nota: Adaptado de “ECA categoría 3: agua para riego no restringido – decreto supremo N°004-2017- MINAM”

El sistema denominado control no cumple con lo establecido, los valores de los parámetros fisicoquímicos superan y se encuentran fuera del rango establecido por los ECA categoría 3: agua para riego no restringido. Lo que supone que este sistema no es apto para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

5.2. Discusión de resultados

Al efectuar el análisis de los 4 sistemas de humedales artificiales denominados: T1, T2, T3 (con jacinto de agua) y C (sin jacinto de agua) muestra la diferencia significativa en el proceso de remoción de contaminantes con el uso de la *Eichhornia crassipes* en humedales artificiales.

El sistema denominado control presenta porcentajes de remoción leves en 3 de los 8 parámetros con 4%, 8% y 15.48% evidenciando también el incremento de los demás parámetros fisicoquímicos durante el tiempo establecido de 5 a 10 días. Estando en desventaja con los humedales denominados T1, T2 y T3 en los cuales la presencia del jacinto de agua en el humedal artificial facilitó el proceso de descontaminación y tratamiento del agua residual doméstico, resultando porcentajes de 36.88 a 78.50% de remoción de contaminantes.

Así también Guerra (2022) evaluó la capacidad fitorremediadora de *la Eichhornia crassipes* en humedal artificial de las aguas residuales domésticas analizando 9 parámetros fisicoquímicos: STD 58.87%, DBO 96.77, %SST 96.41%, DQO5 96.90%, conductividad 64.38% y turbidez 50%. Algunos porcentajes mantienen un rango de 60 a 80% coincidiendo en la eficiencia de la *Eichhornia crassipes*. Demostrando así la importancia y eficiencia del jacinto como macrófita en el tratamiento de las aguas residuales domésticas

El diseño y construcción del humedal artificial fue de tipo flujo subsuperficial horizontal. Arce (2018) publica información sobre los sistemas de humedales como una alternativa para el tratamiento eficiente y económico, describiendo tipos, componentes, construcción, operación de humedales artificiales y como aplicar esta tecnología. Donde la mejor opción y adecuada según las condiciones establecidas en la investigación corresponde al tipo de flujo subsuperficial horizontal.

Debido a ello se pudo comprobar la eficiencia de este tipo de humedal para el funcionamiento en el proceso de remoción de contaminantes según las cualidades y

circunstancias presentadas del lugar de estudio.

El tiempo de adaptación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) fue de 10 días en el proceso de fitorremediación. Esto se atribuye a antecedentes e información obtenida sobre el proceso de adaptación, condiciones y características que posee la planta. Reyes et al. (2019) establece un periodo de 5 días para el tratamiento de aguas residuales de una planta de beneficio, en el cual se evidencia un porcentaje de remoción: 53,18% en DQO demostrando una eficiencia no tan significante. Así Solís et al. (2016) implementa humedales artificiales con 7 parámetros fisicoquímicos usando el espadaño, jacinto de agua, camalote y chintul. Donde el jacinto de agua demostró una eficiencia no tan significante en comparación con los demás humedales esto se atribuye al periodo establecido de 5,5 y 7,5.

Sim embargo Noruega y Fernández (2019) realizó el estudio de fitorremediar con jacinto de agua las aguas residuales estableciendo un periodo de 6 y 12 días. Demostrando que la capacidad máxima de remoción se produce a los 12 días con un 89% de remoción. Estableciendo que el periodo de tratamiento efectivo o adecuado va de 5 a 12 días necesarios para una correcta fitorremediación con jacinto de agua respaldando el tiempo establecido para este proyecto de investigación.

Los parámetros fisicoquímicos demostraron la disminución significativa en el grado de contaminación de las aguas residuales domésticas, presentando los siguientes porcentajes: turbidez 44.4%, SDT 68.46%, SST 78.50%, conductividad eléctrica 65.27%, DBO5 66.67%, DQO 67.18%. Así Chang et al. (2019) analizó la capacidad del jacinto de agua y lechuga de agua en el tratamiento de aguas residuales domésticas, el humedal está constituido por sedimentador y humedal artificial. En el análisis fisco químicos el jacinto de agua presentó 78,2% en DBO, 72,1% en DQO, 82% en STS. De igual forma Guerra (2022) evaluó la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua en humedal artificial de las aguas residuales domésticas analizando 9 parámetros fisicoquímicos: SST 96.41%STD 58.87%, DBO 96.77 %, conductividad 64.38%, turbidez 50% y DQO5 96.90%.

Algunos porcentajes mantienen un rango de 60 a 80% coincidiendo en la viabilidad del jacinto de agua. Igualmente, López (2023) examinó los parámetros de calidad de aguas residuales provenientes de una planta piloto de aguas residuales que se trató con humedales artificiales, donde presentaron porcentajes de 85% a 98% de remoción en parámetros de SST. Por último, Torres (2021) también obtiene porcentajes de 98% de remoción de contaminantes en los siguientes parámetros: DQO, DBO, sólidos suspendidos y coliformes termo tolerantes. Todos los autores de investigaciones mencionadas mantienen un rango de porcentajes elevados que no son tan distintos a los obtenidos por nuestra investigación.

Correspondiente a los parámetros microbiológicos presentaron porcentajes de remoción significativos, el humedal denominado c presenta una remoción leve del 5% en coliformes termo tolerantes y 18% de remoción en escherichia coli. Los humedales T2 y T3 presentan porcentajes de remoción desde 65% a 100% en parámetros microbiológicos. Así Julca (2016) analizó el porcentaje de remoción de coliformes fecales en un periodo de 5,10 y 15 días obteniendo 100%, 75% y 50% de porcentaje de remoción.

Así también Balderon y Chavez (2023) usaron humedales artificiales de flujo subsuperficial obteniendo porcentaje de remoción de escherichia coli de 80% a 100% para coliformes fecales. Demostrando que el porcentaje de remoción de diez días se encuentra en un rango adecuado para aguas residuales domésticas, afirmando que el jacinto de agua es eficiente y evidencia elevados porcentajes de remoción.

VI. Conclusiones

- La capacidad fitorremediadora del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) demostró ser eficiente y realizó un correcto tratamiento a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- El adecuado diseño y construcción del humedal artificial es de tipo flujo subsuperficial horizontal con las siguientes dimensiones: 1m de ancho, 0.60 m de profundidad y 2m de largo el cual consta de 0.50 m de pre tratamiento (sedimentación), 1m de largo del humedal con jacinto de agua (tratamiento secundario), y 0.50 m de almacenamiento de afluente para el funcionamiento en el tratamiento de aguas residuales domésticas con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- El tiempo de adaptación fue de 10 días establecido según antecedentes y efectividad demostrada por del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la fitorremediación a través de humedales artificiales en aguas residuales domésticas de Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.
- La variación establecida por los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos demostraron la disminución significativa en el grado de contaminación de las aguas residuales domésticas en la aplicación del tratamiento a través de humedales artificiales con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en Pachachaca baja, distrito de Abancay-Apurímac,2023.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda evaluar la capacidad fitorremediadora del jacinto de agua en un periodo más amplio. Comparando con los valores de los niveles LMP normativa D.S. N° 003-2010- MINAM. También con los valores establecidos por el ECA categoría 3: agua para riego no restringido.
- Se propone usar los humedales artificiales con los distintos tipos de diseño y construcción del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales domésticas con el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Debido a las ventajas económicas y sociales para el mantenimiento con implementos de la zona.
- Se sugiere que los jancitos de agua a seleccionar sean de tamaño mínimo de 30 cm (planta + raíz). Porque estas poseen mayor grado de adaptación a cualquier tipo de medio acuático. Facilitando así el proceso de enraizamiento durante el proceso de tratamiento de aguas residuales.

VIII. Referencias

Abreu, N. (octubre de 2020). *Procedimiento de trabajo - aislamiento y recuento de E.coli y coliformes en aguas residuales y depuradas mediante filtración por membrana (ISO 9308).* Obtenido de adaptares - Uso eficiente de agua e sua reutilizacao para a adaptacao as mudancas climaticas na macaronesia: https://www.adaptares.com/wp-content/uploads/2021/10/adaptares_PNT-E.-coli.pdf

Agudo, L. A. (2021). *Propuesta de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de Benisuera (Valencia).* Obtenido de Universitat politecnica de valencia - escola politecnica superior de gandia : https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/179560/Agudo%20-%20Propuesta%20de%20un%20humedal%20artificial%20para%20el%20tratamiento%20de%20las%20aguas%20residuales%20de%20Benisue....pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aguilera, R., Silva, P., & Reyes. (2010). Determinaciòn de sulfato por el metodo turbidimetrico en aguas y aguas residuales. *Revista cubana de quimica*, 39–44.

Alarcon, H., Zurita, M., Lara, J., & Vidal, G. (20 de Noviembre de 2018). *Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicables en america latina.* Obtenido de Pontifica universidad Javierana: http://www.eula.cl/giba/wpcontent/uploads/2018/06/humedales-de-tratamiento-

Alvarado, C. J., & Manayay, P. J. (2020). *Uso de la Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales.* Obtenido de universidad Cesar Vallejo - Facultad de ingenieria y arquitectura - Repositorio Cesar Vallejo - Chiclayo: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60126

Amaya, W., Cañon, O., & Aviles, O. (2004). *Control de pH para planta de tratamiento de*

aguas residuales. Obtenido de Ciencia e Ingeniería Neogranadina: https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1271

Arce, C. A. (Marzo de 2018). *Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción.* Obtenido de Fundación universidad de américa - facultad de educación permanente y avanzada - especialización en gestión ambiental - Bogota d.c.: https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf

Arias, C., & Brix, H. (13 de julio de 2003). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.* Obtenido de Ciencia e ingenieria neogranadina: https://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/1023/1/Arias%2C%20Brix.%20Humedales%20artificiales%20para%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf

Arias, M. (2010). Funciòn de las plantas, flujo y tipo de vegetacion en humedales tecnicos construidos como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales en paises tropicales en desarrollo. *Universidad Industrial de Santander*.

Ayala, A. M. (3 de Marzo de 2022). *Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento de aguas residuales domésticas.* Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Universidad del Perú.Decana de America - Dirección General de Estudios de Posgrado: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/18006/Mena_aa.pdf?sequence=3

Azcarate, F. (2016). *Tratamiento de efluentes.* Obtenido de Analisis industrial: https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/133332/mod_resource/content/1/Tratamiento%20de%20efluentes%202016-ilovepdf-compressed%20%281%29.pdf

Baldeon, P. S., & Chavez, C. L. (2023). *“Efectividad de los sistemas de tratamiento de*

aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial en la PTAR juan Velasco Alvarado-ubicada en el distrito de villa el salvador-Lima". Obtenido de Universidad nacional del callao - facultad de ingeniería ambiental y recursos naturales: https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/8400?show=full

Batista, Y. (31 de Diciembre de 2013). *Banco mundial BIRF-AIF.* Obtenido de Un 70% de las aguas residuales de Latinoamerica se devuelven a los rios sin ser tratadas: https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados

Beatriz, L. (3 de Agosto de 2023). *Coliformes.* Obtenido de Coliformes termotolerantes o fecales: https://www.lifeder.com/coliformes/

Benefield, L., & Randall, C. (1980). Biological process desing for wastewater treatment. *Pretice-hall,Inc.englewood cliffs,N.J*.

Benito, S. A. (2015). Aprovecahmiento de cromo eliminado en aguas residuales de curtiembres (San Benito,Bogota) mediante tratameinto con sulfato de sodio. Luna Azul, 40. *https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.9*.

Bhargava. (2012). *RiverPhy-LORCA.* Obtenido de Fitoextracción, ¿que es realmente?: http://liferiverphy.eu/web/fitoextraccion-que-es-realmente/

Bizarra, C., & Portillo, A. (20 de Mayo de 2021). *Uso de humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal Huancavelica.* Obtenido de universidad nacional de Huancavelica: http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4004

Campos, C. (2018). *Huevos de helmintos como indicadores de contaminación deorigen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos.* Obtenido de Biomedica- huevos de helmintos como inidcadores de contaminación fecal: http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v38n1/0120-4157-bio-38-01-00042.pdf

Cardenas, C. A. (23 de Noviembre de 2012). *Evaluación del desempeño de humedales*

construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Obtenido de Universidad de Sevilla -Escuela Tecnica Superior de Ingenieria- Master en Tecnologia Quimica y Ambiental: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70357/fichero/1.+PORTADA.pdf

Carpena, R., & Bernal, M. (2007). Claves de la fitorremediaciòn: fitotecnologias para la recuperaciòn de suelos. *ecosistemas*, 1-3.

Carrion, C., Ponce-de-leon, C., Cram, S., Sommer, L., Hernandez, M., & Vanegas, C. (2014). Aprovechamiento potencial del lirio acuático (Eichhornia crassipes) en Xochimilco para fitorremediación de metales. . *Agrociencia*, 609-620.

Castañeda, V. A., & Flores, L. H. (9 de Septiembre de 2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrofitas tipicas en los Altos de Jalisco. *Paakat, revista de tecnologia y sociedad*, 378. Obtenido de Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrofitas tipicas en los Altos de Jalisco: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5815442

Castellanos, R. (1987). *La contaminación por nitratos en las aguas del subsuelo de la Comarca Lagunera.* Zacatecas, Zac. p. 65: In: 20º Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo.

Chacon, A. (2002). *Aguas residuales urbanas de maracaibo , Venezuela.* Obtenido de USO DE Chlorella sp . Y Scenedesmus sp . : https://sga.unemi.edu.ec/media/archivomateria/2023/05/01/archivomaterial_202351212551.pdf

Chafloque, L., & Gomez, G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNSMSM. *revista del instituto de investigaciones FIGMMG*, 85-96.

Chang, G. K., & Huaman, T. C. (29 de Agosto de 2019). *Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas Eichhornia crassipes y pistia stratiotes, plantas típicas de la selva peruana.* Obtenido de Universidad peruana

unión: https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3230

Colotta, G. (2003). *Tratamiento fisico-quimico de guas residuales .* Obtenido de tratamiento fisico-quimico de guas residuales : https://sga.unemi.edu.ec/media/archivomateria/2023/05/01/archivomaterial_20235 1212551.pdf

CONAMB. (2023). *Aguas Residuales* . Obtenido de Tratamiento de aguas: https://www.conambsas.com/aguas-residuales/

Cordova, S. (2011). *Evaluacion del tratamiento biologico para remoción de azul índigo de agua residual industrial.* Obtenido de Gestion y Ambiente: https://sga.unemi.edu.ec/media/archivomateria/2023/05/01/archivomaterial_20235 1212551.pdf

Crombet, P. (Mayo de 2013). Caracterizacion de las aguas residuales de la comunidad "Antonio Maceo" de la Universidad de Oriente. *Revista cubana de quimica*, 134-142. Obtenido de Wastewater Characterization of the Community "Antonio Maceo" : file:///C:/Users/jobel/Downloads/osmani,+787-2851-1-CE.pdf

Cuesta, M. (2009). Introducciòn al muestreo. *Universidad de Ovideo*.

Delgadillo, A., Gonzales, A., Prieto, F., Villagomez, R., & Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 597-612.

Delgadillo, O., Camacho, A., & Perez, L. (25 de Octubre de 2021). *Depuraciòn de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Obtenido de Centro andino para la gestiòn y uso del agua: http://blogdelagua.com/wpcontent/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residu %20ales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

Delgadillo, O.; Camacho, A.; Perez, L.; Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. *Cochabamba-Bolivia*, 105.

Diaz, E., & Camacho, K. (2012). El tratamiento del agua residual domestica para el

desarrollo local sostenible: el caso de la tecnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energia (SUTRANE) en San Miguel Almaya,Mexico. 1-21.

Ecured. (20 de Septiembre de 2021). *Sustrato*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Sustrato

Espigares, G., & Perez, L. (1985). *Aguas residuales. Composiciòn.* Obtenido de Aspectos sanitarios del estudio de las Aguas - Universidad de Granada : https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf

Espigares, G., & Perez, L. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. *universidad de Granada. servicio de publicaciones*, 1-22.

Estrucplan. (01 de Enero de 2000). *Composiciòn de las aguas residuales*. Obtenido de Contaminantes, efluentes liquidos y gaseosos: https://estrucplan.com.ar/composicion-de-las-aguas-residuales/

Florido. (29 de Diciembre de 2020). *Jacinto de Agua: cuidados, ventajas y desventajas*. Obtenido de jacinto de agua: https://florecido.com/c-flores-de-agua/jacinto-de-agua/

Frederick, D. (Enero de 2018). *Muestra estadística*. Obtenido de Recuperado de Enciclopedia Económica: (https://enciclopediaeconomica.com/muestra-estadistica/)

Gamboa, F. (2016). *Estudio fisicoquimico de la calidad del agua Cacra, region Lima.* Obtenido de Conductividad electrica: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6797/TEVES_aguirre_betty_estudio_fisicoquimico_agua_rio_cacra.pdf

Garces, & Peñuela. (2007). *Tratamiento de las aguas residuales de una industria textil utilizando colector solar.* Obtenido de Revista Lasallista de Investigación: https://sga.unemi.edu.ec/media/archivomateria/2023/05/01/archivomaterial_20235

1212551.pdf

Garita, G. (15 de Mayo de 2016). *Que pasa si el agua potable contiene "escherichia coli"*. Obtenido de GIDAHATARI.COM: https://gidahatari.com/ih-es/que-pasa-si-el-agua-potable-contiene-escherichia-coli

Gilvapas, E. M.-G. (2016). Degradaciòn de colorante amarillo 12 de Aguas residuales industriales utilizando hierro cero valente, peroxido de hidrogeno y radiaciòn ultravioleta. *23-34*, https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300004.

Glasstone, S., & Lewis, D. (1969). *pH*. Obtenido de Ciencias naturales - Medica Quirurgica 2da edición: https://concepto.de/ph/

Godoy, A. (07 de Septiembre de 2014). *Fundamentos de sistemas de tratamiento mediante humedales Artificiales*. Obtenido de SANAA: https://www.slideserve.com/marva/fundamentos-de-sistemas-de-tratamiento-mediante-humedales-artificiales

Guerra. (2022). Elaboraciòn del humedal artificial con Schoenoplectus americanus (Junco) para la depuraciòn de aguas residuales domesticas en Santa Rosa - Jicamarca. *Universidad cesar vallejo*.

Hammer, D., & Bastian, R. (1989). Wetlands ecosystems:natural water purifiers. *Costructed wetland for wastewater treatment*.

Hanan, A. (29 de Agosto de 2009). *Pontederiaceae.* Obtenido de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms: http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/pontederiaceae/eichhornia-crassipes/fichas/ficha.htm

Hernandez. (2014). *Capitulo V: definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa.* Obtenido de ¿En que consisten los estudios explicativos?: https://sites.google.com/site/51300008metodologia/reporte-del-capitulo-5

Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, P. (30 de Junio de 2015). *Metodologia de la*

investigación. Obtenido de diseño de la investigación cuantitativa: https://es.slideshare.net/gambitguille/diseo-de-la-investigacin-cuantitativa-52502273#:~:text=Entonces%20un%20dise%C3%B1o%20experimental%20se,o%20consecuentes)%2C%20dentro%20de%20una

Instituto del Agua. (2022). *Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales: El futuro sostenible de la depuración del agua*. Obtenido de Instituto del Agua: https://institutodelagua.es/aguas-residuales/humedales-artificiales-para-el-tratamiento-de-aguas-residualesaguas-residuales/

Instituto del Agua. (2023). *Aguas residuales en el Perú: un análisis profundo sobre su impacto y desafíos*. Obtenido de calidad del agua en el Perú - retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales - DAR: https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aguas-residuales-en-el-peruaguas-residuales/

Intriago, A. (2019). Humedal artificial para el tratamiento de aguas grises en las casas de la comunidad de pan y agua, jipijapa. 87.

Jimenez, B. (2001). *La contaminación ambiental en Mexico.* Obtenido de Solidos disueltos totales: https://books.google.com.pe/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA127&dq=s%C3%

Julca, L. D. (2016). *Eficiencia del humedal artificial piloto con las especies phragmites australis (carrizo) y eichhornia crassipes (jacinto de agua) para la remoción de coliformes fecales del agua del canal de regadío de la localidad de campiña de Supe, Lima 2016.* Obtenido de Universidad cesar vallejo - Lima: https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/911

Kadlec, R. (1993). Hydrological design of free water surface treatment wetlands. *In. G. Moshiri - Constructed wetlands for water quality improvement* , 77-86.

Kelley, C., Gaither, K., Baca-Spry, A., & Crucickshank, B. (2000). Incorporation of phytoremediation atrategies into the introductory chemistry laboratory. *chem*

educator, 140-143.

Koncagul, T. C. (2021). *El valor del agua - Programa mundial de la UNESCO de Evaluaciòn de los recursos hidricos.* Italia: climaticamente neutro.

Larios, F., Gonzales, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 10-15.

Larios, O. (2009). *Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria.* Obtenido de Arch. med. Camaguey: file:///C:/Users/jobel/Downloads/Dialnet-LaCalidadDeLasAguasResidualesDomesticas-7926905%20(1).pdf

Larios, O. (2009). Contaminaciòn del agua por nitratos: significaciòn sanitario. *Polo del Conocimiento*, Arch. Méd. Camaguey, 13(2), 0–0.

Llano, O. R. (2014). *Tratamiento fisicoquimico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso.* Obtenido de Tratamiento fisicoquimico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso: https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010

Lopez, P. Y. (17 de Mayo de 2023). *Uso potencial de la especie vegetal Eichhornia crassipesdel humedal artificial de la planta piloto Arturo Pazos.* Obtenido de Agua,saneamiento & ambiente,Vol. 18 No.1: https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1512/1020

Maldonado, Y. (25 de Octubre de 2021). *¿Que es la grava?* Obtenido de Tipos de grava: https://geologiaweb.com/rocas/grava/

Mancilla-Villa, O., Ortega-Escobar, h., Ramirez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. (2011). Metales pesados totales y arsenico en el agua para riego de puebla y Veracruz, Mexico. *Revista internacional de contaminaciòn ambiental*, 39-48.

Mara, D. (2004). Domestic wastewater treatment in developing countries. 293.

Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales;

una revisión del estado del arte. *Ingenieria y Ciencia*, 221-243.

Martinez, M. (1979). *Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas.* Obtenido de fondo de cultura económica. México, D.F.

Mena, L., Echevarria, C., & Cespedes, D. (2020). El uso de aguas hervidas en la agricultura por el sector de Pachachaca. *SCRIBD*, 7-9.

Metcalf & Eddy. (1995). Caracteristicas de las aguas residuales. En I. Metcalf & Eddy, *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (págs. 70-98). España: McGRAW-HILL/Interamericana de España, S. A.

Metcalf, & Eddy. (1996). Tratamiento,vertido y reutilizaciòn. *Ingenieria de aguas residuales*.

Miler, D. (2011). *Tipos de Investigación.* Obtenido de Investigación cientifica: https://www.buenastareas.com/ensayos/Tipos-De-Investigacio-n/78134497.html

MINAM. (31 de Julio de 2008). Aprueban los Estandares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua - MINAM, decreto supremo Nº002-2008-MINAM. *El Peruano*, págs. 1-6.

MINAM. (31 de Julio de 2008). *Ministerio del ambiente.* Obtenido de Estandares de calidad ambiental: https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/

MINAM. (17 de Marzo de 2010). Decreto supremo Nº003-2010-MINAM. *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*, págs. 1-2.

MINAM. (7 de Junio de 2017). Decreto supremo Nº 004-2017-MINAM. *Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias*, págs. 1-10.

Minam. (2021). *Bicentenario Perú*. Obtenido de Limite maximo permisible (LMP): https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/

MINAM. (2021). *Ministerio del ambiente - bicentenario Peru.* Obtenido de limite maximo

permisible (LMP): https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/

Morante, G. (2002). Electrocaogulante de aguas residuales. *Journal of chemical information and modeling*, 160.

Moron, S. (2009). *Caracterización de la materia particulada de la línea de Aguas Residuales de un sistema de humedales construidos.* Obtenido de Caracterización de la materia particulada de la línea de Aguas Residuales de un sistema de humedales construidos: https://sga.unemi.edu.ec/media/archivomateria/2023/05/01/archivomaterial_20235 1212551.pdf

Noruega, D. W., & Fernandez, A. M. (27 de Mayo de 2019). *Evaluación de la capacidad fitoremediadora del jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en dos tiempos de retención hidraulica como alternativa para el tratamiento de aguas residuales domesticas en el corregimiento de Usenda, Silvia-cauca.* Obtenido de Fundación universitaria de Popayan - facultad de ciencias naturales - programa de ecología: https://fupvirtual.edu.co/repositorio/files/original/aee37e5a064ed8f6a4d9859acdec 880d85458815.pdf

Noyola, A. (1996). Anaerobic technology as a tool for the sustainable environment:the context of Mexico, en Biodegradaciòn de Compuestos organicos Industriales. *Instituto de Ingenieria UNAM*, 169-172.

Ortega, C. (2024). *Muestreo no probabilístico: definición, tipos y ejemplos*. Obtenido de Questionpro: https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/

Osorio, C. N. (Marzo de 2021). *La calidad de las aguas residuales domesticas.* Obtenido de The quality of domestic water water - Conocimiento: https://sga.unemi.edu.ec/media/archivomateria/2023/05/01/archivomaterial_20235 1212551.pdf

Pilon, S. E., & Pilon, M. (2002). Phytoremediation of metals using transgenic plants. *Critical reviews in plant sciences*, 439-456.

PRONAMACHCS. (2004). Manejo y conservación del suelo - Fundamentos del riego. *PRONAMACHCS*, 413-415.

PROSCONT. (2022). *Ventajas y desventajas de los humedales artificiales*. Obtenido de PROSCONT.COM: https://www.proscont.com/ventajas-y-desventajas-humedales-artificiales/

Qadir, M., Drechse, P., Jimenez, C., Younggy, K., Pramanik, A., Mehta, P., & Olaniyan. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutrient and energy source. *Natural Res. Forum*, 44(12):40-51.

Rafo, L. E., & Ruiz, L. E. (03 de abril de 2014). *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno.* Obtenido de Revista de la facultad de ingenieria industrial - UNMSM: https://www.researchgate.net/publication/307181622_Caracterizacion_de_las_aguas_residuales_y_la_demanda_bioquimica_de_oxigeno

Ramalho, s. (1996). Niveles de tratamiento de aguas residuales y normas de calidad de las aguas. En R.S.Ramalho, *Tratamiento de aguas residuales* (pág. 8). Barcelona: Reverte,S.A.

Ramirez. (2008). *Validación del método colorimétrico de reflujo cerrado para determinar la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales.* Obtenido de Demanda quimica de oxigeno: http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/1140/1/209617.pdf

Ramirez, G., Ferreira, A., & Ramirez, F. (2014). Aumento de la actividad metanogenica en ldoos granulares, precipitando calcio en el nejayote mediante el burbujeo de co2. 517-525.

Reed, S., & Brown, D. (1992). Constructed wetland design: the first generation. En S. C. Reed, *Water environment research* (págs. 776–781). Chicago: JSTOR.

Reyes, M. (5 de Julio de 2012). *jacinto de agua.* Obtenido de Ecured: https://www.ecured.cu/Jacinto_de_agua

Reyes, W., Diaz, G., Hernandez, A., & Nuñez, G. (Miercoles de Septiembre de 2019). *XV reunión técnica nacional de palma de aceite - sostenibilidad y eficiencia para la palmicultura colombiana.* Obtenido de Humedales artificiales: una alternativa efectiva como tratamiento terciario para el saneamiento de efluentes del beneficio de la palma. - Centro de investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA) - Alianza del Humea: https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2019/09/3.6-Wiliam-Reyes_compressed.pdf

Rivilla, M. (1 de Junio de 2022). *El potencial de la fitorremediación como tecnología medioambiental.* Obtenido de La fitorremediación: https://www.masscience.com/el-potencial-de-la-fitorremediacion-como-tecnologia-medioambiental/

Rodriguez. (15 de Febrero de 2019). *Humedal artificial: una propuesta para el manejo de aguas residuales*. Obtenido de Ciencia y Tecnologia: https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/02/15/humedal-artificial-una-propuesta-para-el-manejo-de-aguas-residuales.html

Rojas, R. (2005). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Teoria y principios de diseño: https://www.studocu.com/pe/document/universidad-ricardo-palma/ingenieria-ambiental/42-final-tratamiento-de-aguas/29903320

Romero-Aguilera, S. P., & Reyes, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluaciòn de la remociòn de la carga organica. *Revista internacional de contaminaciòn ambiental*, 157-167.

Romero-Ortiz, L., Ramirez-Vives, F., Alvarez-Silva, C., & Mirana-Arce, M. (2011). Uso de hidrofitos y un sistema anaeróbico para el tratamiento de agua residual de rastro. *Polibotanica*, 157-167.

RPP. (25 de Junio de 2012). Abancay: Riegan cultivos con aguas servidas. *RPP*, pág. 1.

Ruiz. (2017). *Método de estimación de sólidos suspendidos totales como indicadorde la calidad del agua mediante imágenes satelitales.* Obtenido de Solidos suspendidos totales:

https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/59720/2949594699.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Russell, R. (1999). Natural systems for waste management and treatment wetlands, McGraw Hill. *Constructed wetlands and mosquitoes health hazards*.

Salgabo-Bernal, I., Duran-Dominguez, C., Cruz-Arias, M., Carballo-Valdez, M., & Martinez-Sardiñas, A. (2011). Bacterias rizosfericas con potencialidades fisiologicas para eliminar materia organica de aguas residuales. *Revista internacional de contaminaciòn ambiental*, 17-26.

Saltos, A., & Zambrano, P. X. (2009). *"Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domesticas de la población de San Eloy en la provincia de Manabi por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre".* Obtenido de ESPOL: https://es.scribd.com/presentation/254967538/Tesis-Zambrano-Saltos

Sampieri, H. (2014). *Metodologia de la investigación Sexta edición - Mc.Graw Hill Education.* Mexico: McGRAW-HILL / interamericana editores, S.A. DE C.V.

Sampriti, K., Soumya, C., Mogan, G., Sanjai, K., & Dahrmendra, k. (2019). Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biolfilm and substrate). *Journal of Environmental Management*.

Sanchez, O. (25 de Marzo de 2021). *Instituto de Ecologia, A.C.* Obtenido de INECOL: https://inecol.mx/inecol/index.php/es/component/content/article/17-ciencia-hoy/1310-beneficios-de-los-humedales-flotantes

Sans, & Ribas. (1989). Tratamiento de aguas residuales. En R. S. Fonfria, & J. d. Ribas, *Ingenieria ambiental: contaminación y tratamientos.* Barcelona: Marcombo,S.A.

Sepulveda, A., Gonzales, E., & Inostroza, C. (2011). *Remediación de la contaminación por nitratos en el suelo: antecedentes generales y pertinencia en zona sur de chile.* Obtenido de gestión ambiental:

https://www.ceachile.cl/revista/cdn/ga_21_2011_sepulveda_ri.pdf

Sepulveda, V., & Velasco, T. (2002). Tecnologias de remediaciòn para suelos contaminados. *instituto nacional de ecologia amazon*, 1-61.

Sequeiros, J. (29 de Noviembre de 2019). *Aguas servidas sin tratamiento son arrojadas al río Pachachaca.* Obtenido de CORREO: https://diariocorreo.pe/edicion/cusco/aguas-servidas-sin-tratamiento-son-arrojadas-al-rio-pachachaca-926108/

Sequeiros, J. (11 de Noviembre de 2019). Aguas servidas sin tratamiento son arrojadas al río Pachachaca. *CORREO*, pág. 1.

Solis, S., Lopez, O. G., Bautista, M. R., Hernandez, B., & Romellon, C. (1 de Enero de 2016). *Interciencia - Asociación interciencia - Carcas, Venezuela.* Obtenido de Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33943362007

Solms et.al. (Septiembre de 2013). *Catalogo español de especies exoticas invasoras.* Obtenido de Jacinto de agua: https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/eichhornia_crassipes_2013_tcm30-69827.pdf

Tamayo, C., & Silva, I. (2016). Técnicas e instrumentos de recolección de datos. *Universidad católica los angeles de Chimbote*.

Telleria, N. (30 de mayo de 2022). *Turbidez como parametro del Agua.* Obtenido de Advance: https://somosadvance.com/expertise/turbidez-como-parametro-de-calidad-en-el-agua/

Tilley, E. (2014). *Humedal Artificial de Flujo de Horizontal subsuperficial*. Obtenido de Akvopedia: https://akvopedia.org/wiki/Humedal_Artificial_de_Flujo_de_Horizontal_subsuperficial

Tilley, E., Ulrich, L., Lutchi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrugg, C. (2018). Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento . *Instituto federal suizo para la ciencia y la tecnología acuática (Eawag)*.

Tito, B. (28 de Julio de 2020). *Ingenieria Ambiental*. Obtenido de Humedales artificiales: para el tratamiento de aguas residuales: https://ingenieriaambiental.net/humedales-artificiales/

Torres, G. (2021). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales facultativa, incorporando plantas acuáticas: lechuga de agua (pistia stratiotes) y jacinto de agua (Eichornia crassipes) para el distrito de Eten, provincia de Chiclayo.* Obtenido de Universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo - facultad de ingeniería: https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/4320

Triveño Sierra, D. (2016). Influencia del agua del rio Mariño en la calidad del agua del rio Pachachaca, Abancay 2016. *Repositorio UTEA*, 92.

Tuanama Robalino, A. E. (2020). Comparación de eficiencia de humedales en la remoción de contaminantes en aguas residuales municipales con especies caña brava, jacinto de agua y lenteja de agua, basado en dos investigaciones. *renati*.

Vasquez, C. J. (3 de Julio de 2018). *Universidad Cesar Vallejo - Trujillo.* Obtenido de Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad cesar vallejo- Trujillo utilizando jacinto de agua (Eichhornia crassipes) en humedales artificiales.: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33468/vasquez_chj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vasquez, C., & Vasquez, G. (2003). Ingenieria de los sistemas de tratamiento y dispocisiòn de aguas residuales. *Calidad de las aguas residuales domesticas*.

Vazquez, C. (18 de Diciembre de 2020). *Lirio acuatico: caracteristicas,habitat, cuidados y usos.* Obtenido de Lifeder: https://www.lifeder.com/lirio-acuatico/

Vazquez, C. (03 de Abril de 2023). *Macrofitas* . Obtenido de Eichhornia crassipes (jacinto

de agua) - Lifeder: https://www.lifeder.com/macrofitas/

Vidal, A. M. (26 de Mayo de 2018). *Tratamiento de aguas residuales en México: problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables.* Obtenido de Revista internacional de Desarrollo Regional Sustentable: http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/32/38

VYMAZAL, J., & KROPFELOVA, L. (25 de Mayo de 2005). Growth of Phragmites australis and Phalaris arundinacea in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic. *Ecological Engineering*, 606-621.

Wilmer Alberto Llagas Chafloque, E. G. (2006). *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*.

Zambrano, X., & Saltos, X. (Febrero de 2009). *Diseño del sistema de tratamiento para la depuración de las aguas residuales domésticas de la población San Eloy en la provincia de Manabí por medio de un sistema de tratamiento natural compuesto por un humedal artificial de flujo libre.* Obtenido de Researchgate: https://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6087/5/CAPITULO%202.pdf

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes