

TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS
MEDIANTE HUMEDALES
ARTIFICIALES MEJORADOS CON
RIZOBACTERIAS DEL
VERTIMIENTO N° 8 - PARRA DEL
RIEGO - EL TAMBO - HUANCAYO

por Elizabet Inga

Fecha de entrega: 11-ago-2023 01:13a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2144308425

Nombre del archivo: Elizabet_Inga,_Morelia_Paitan_y_Jackelyne_Laurente_-_Tesis.docx (2.7M)

Total de palabras: 15201

Total de caracteres: 79476



³
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES MEJORADOS CON
RIZOBACTERIAS DEL VERTIMIENTO N° 8 - PARRA DEL RIEGO -
³
EL TAMBO - HUANCAYO**

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

PRESENTADO POR:

BACH. ELIZABET NORMA INGA ARMAS

BACH. MORELIA NENA PAITAN ZAVALA

BACH. JACKELYNE JUDITH LAURENTE SEGOVIA

HUANCAYO - PERÚ

2023

ASESOR

Ing. José Vladimir Comejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

Primero, damos ¹ gracias infinitas a Dios, por su amor, misericordia y fortaleza en todo momento para poder culminar nuestras metas.

A la prestigiosa Universidad Continental E.A.P. Ingeniería Ambiental por abrirnos las puertas de su institución.

A la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - Escuela de Ingeniería y Arquitectura mención Facultad de Ingeniería Ambiental, un profundo agradecimiento a todas las personas que directa e indirectamente nos apoyaron durante todo este proceso para poder plasmar el presente proyecto.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a nuestro creador, por el gran amor incondicional que nos tiene, a mis padres, por haberme permitido llegar hasta la etapa final de mi profesión, y a mis maestros, que con su sabiduría lograron mi desarrollo en esta gran etapa.

Elizabeth Norma Inga Armas.

Dedico el resultado de este trabajo a mis padres, Edison Paitan Matamoros y Angelina Zavala Espinal, quienes son mi fuente de apoyo constante en mi vida, ya que gracias a ellos hoy culmino satisfactoriamente mi carrera profesional.

De igual manera, quiero agradecer ¹² a mi familia en general por el apoyo incondicional que siempre me brindaron en el transcurso de mi carrera universitaria.

Morelia Nena Paitan Zavala.

A mi señor Jesucristo, por otorgarme la sabiduría y fuerza para mis metas.

A mis padres, Armando Laurente y Maximiliana Segovia, por su constante apoyo incondicional, se merecen todo y mucho más, ya que gracias a ellos hoy culmino mi carrera profesional.

A mis hermanos Erik y Brayan, por sus consejos y palabras de ánimo que nunca me hicieron faltar.

Jackelyne Judith Laurente Segovia.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.1.2.1. Problema general	2
1.1.2.2. Problemas específicos	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificación e importancia	4
1.3.1. Ambiental	4
1.3.2. Social	4
1.4. Hipótesis y variables	5
1.4.1. Hipótesis general	5
1.4.2. Hipótesis específicas	5
1.4.3. Operacionalización de las variables.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7

2.1.	Antecedentes de la investigación	7
2.1.1.	Antecedentes internacionales	7
2.1.2.	Antecedentes nacionales	8
2.1.3.	Antecedentes regionales y locales	10
2.2.	Bases teóricas	10
2.2.1.	Contaminación de fuentes de agua	10
2.2.2.	Aguas residuales domésticas	11
2.2.3.	Remediación de aguas residuales	11
2.2.4.	Humedales naturales (HN)	11
2.2.5.	Humedales artificiales (HA)	11
2.2.6.	Clasificación de HA	12
2.2.6.1.	Humedal de flujo sub superficial horizontal (FSSH)	12
2.2.6.2.	Humedal de flujo sub superficial vertical (FSSV)	12
2.2.7.	Componentes de los HA	13
2.2.7.1.	Sustrato	13
2.2.7.2.	Vegetación	14
2.2.7.3.	Microorganismos	16
2.2.8.	<i>Typha domingensis</i> (tatora)	17
2.2.9.	Rizobacterias	17
2.3.	Definición de términos	19
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		21
3.1.	Método y alcances de la investigación	21
3.1.1.	Enfoque de la investigación	21
3.1.2.	Métodos de la investigación	21
3.1.2.1.	Método general	21
3.1.2.2.	Método específico	21
3.1.3.	Tipo de la investigación	22
3.1.4.	Nivel de la investigación	22

2	3.2. Diseño de la investigación.....	22
	3.3. Población y muestra.....	23
	3.3.1. Población	23
	3.3.2. Muestra	24
	3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
	3.4.1. Técnicas de recolección de datos	25
	3.4.2. Instrumentos de recolección de datos	25
	3.4.3. Materiales, reactivos y equipos	25
	3.4.4. Procedimientos	26
2	3.4.4.1. Etapa de pre campo	26
	3.4.4.2. Etapa de campo	26
	3.4.4.3. Etapa de laboratorio	27
	3.4.4.4. Etapa de experimentación.....	30
	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
	4.1. Resultados de la investigación.....	31
	4.1.1. Caracterización del agua residual doméstica	31
1	4.1.2. Tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial.....	32
1	4.1.3. Proporción de grava y arena en el tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial.....	38
	4.1.4. Tiempo de contacto en el tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial.....	38
	4.1.5. Tratamiento del agua residual doméstico con el humedal artificial mejorado con rizobacterias	39
	4.1.6. Proporción de grava y arena en el tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias.....	45
	4.1.7. Efecto del tiempo de contacto en el tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias.....	46
8	4.2. Pruebas de hipótesis.....	47
	4.2.1. Prueba de hipótesis general	47

1	4.2.2. Prueba de la primera hipótesis específica.....	49
	4.2.3. Prueba de la segunda hipótesis específica.....	49
	4.2.4. Prueba de la tercera hipótesis específica.....	51
	4.2.5. Prueba de la cuarta hipótesis específica.....	53
2	4.3. Discusión de resultados.....	54
	CONCLUSIONES	56
	RECOMENDACIONES	57
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedal de flujo sub superficial horizontal (FSSH).	12
Figura 2. Humedal de flujo sub superficial vertical (FSSV).	13
Figura 3. Principales funciones del sustrato.	14
Figura 4. Clasificación de plantas de humedales.	16
Figura 5. Acción de los microorganismos.	17
Figura 6. Pasos fundamentales para que se dé una buena estimulación del crecimiento vegetal.	19
Figura 7. Diseño del humedal artificial.	28
Figura 8. Eficiencia del tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales.	37
Figura 9. Efecto de la proporción grava:arena del humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales domésticas.	38
Figura 10. Efecto del tiempo de contacto en el tratamiento de aguas residuales domésticas empleando el humedal artificial.	39
Figura 11. Eficiencia del tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales mejorados con rizobacterias.	45
Figura 12. Efecto de la proporción grava:arena del humedal artificial mejorado con rizobacterias en el tratamiento de aguas residuales domésticas.	46
Figura 13. Efecto del tiempo de contacto en el tratamiento de aguas residuales domésticas empleando el humedal artificial mejorado con rizobacterias.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables.	6
Tabla 2. Sustratos más utilizados dentro de los HA.	14
Tabla 3. Diseño de bloques completamente al azar con repeticiones.	23
Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica.	31
Tabla 5. LMP para un efluente de agua residual doméstica.	31
Tabla 6. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (1era réplica).	32
Tabla 7. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (1era réplica).	33
Tabla 8. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (2da réplica).	34
Tabla 9. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (2da réplica).	34
Tabla 10. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (3era réplica).	35
Tabla 11. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (3era réplica).	36
Tabla 12. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (promedio).	36
Tabla 13. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (promedio).	37
Tabla 14. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (1era réplica).	40
Tabla 15. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (1era réplica).	41
Tabla 16. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (2da réplica).	41
Tabla 17. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (2da réplica).	42
Tabla 18. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (3era réplica).	42
Tabla 19. Porcentaje de reducción en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (3era réplica).	43

Tabla 20. Resultados del ¹ tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (promedio).....	44
Tabla 21. Porcentaje de reducción ¹ en el tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (promedio).....	44
¹ Tabla 22. Análisis de varianza de la DQO empleando el humedal artificial mejorado con rizobacterias.....	¹⁷ 48
Tabla 23. Análisis de varianza de la DBO ₅ empleando el humedal artificial mejorado con rizobacterias.....	48
Tabla 24. Comparación de los LMP para efluentes de agua residual doméstica.....	49
Tabla 25. Análisis de varianza de la proporción grava:arena en la ⁴ eficiencia de remoción de DQO empleando el humedal artificial.....	¹⁷ 50
Tabla 26. Análisis de varianza de la proporción grava:arena en la eficiencia de remoción de DBO ₅ empleando el humedal artificial.....	¹⁰ ¹⁷ 50
Tabla 27. Análisis de varianza de la proporción grava:arena en la eficiencia de remoción de SST empleando el humedal artificial.....	¹⁰ ⁴ 50
Tabla 28. Análisis de varianza del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de DQO empleando el humedal artificial.....	²⁹ ¹⁰ 51
Tabla 29. Análisis de varianza del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de DBO ₅ empleando el humedal artificial.....	²⁹ ¹⁰ 52
Tabla 30. Análisis de varianza del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de SST empleando el humedal artificial.....	52
Tabla 31. Análisis de varianza de los SST empleando el humedal artificial mejorado con rizobacterias.....	53

¹ RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo de determinar la eficiencia de los humedales artificiales con y sin rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) en la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo. Los parámetros iniciales de DQO, DBO₅ y SST para el agua residual fueron 450,70 mg/L, 257,90 mg/L y 2215,10 mg/L respectivamente, dichas concentraciones superaron los LMP para efluentes de agua residual doméstica (ARD) porque lo que se realizó el tratamiento con humedales artificiales con y sin rizobacterias. Los resultados del humedal artificial sin rizobacterias mostró una eficiencia de remoción de materia orgánica de DQO y DBO₅ de 77,27 % y 76,93 % respectivamente, y 85,83 % de SST, logrando una reducción final de DQO, DBO₅ y SST de 102,43 mg/L, 59,50 mg/L y 313,93 mg/L respectivamente, alcanzado reducir la concentración a sus LMP para la DQO y DBO₅. Empleando el humedal con rizobacterias, mejoró la eficiencia de remoción de materias orgánica de DQO y DBO₅ a 96,68 % y 96,67 % respectivamente, y 94,88 % para SST, logrando reducir sus concentraciones a los LMP para efluentes de ARD; 14,97 mg/L, 8,07 mg/L y 113,43 mg/L para DQO, DBO₅ y SST respectivamente. Todos los resultados de eficiencia obtenidos fueron alcanzados a una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto. Los humedales artificiales con rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) disminuyen la materia orgánica y sólidos suspendidos hasta los LMP para efluentes del agua residual doméstica del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.

Palabras clave: humedal artificial, rizobacterias, DQO, DBO₅, SST, grava, arena, tiempo de contacto.

4 ABSTRACT

This research work was carried out with the objective of determining the efficiency of artificial wetlands with and without *Typha domingensis* (totora) rhizobacteria in reducing organic matter and suspended solids in domestic wastewater from Discharge N° 8 - Parra del Irrigation - El Tambo - Huancayo. The type of research developed was applied with a Completely Random Block Design (DBCA). The initial parameters of COD, BOD₅ and TSS presented concentrations of 450.70 mg/L, 257.90 mg/L and 2215.10 mg/L respectively, which exceeded the Maximum Permissible Limits for domestic wastewater effluents. because what was done was the treatment with artificial wetlands with and without rhizobacteria. The results of the artificial wetland without rhizobacteria showed an efficiency of COD and BOD₅ organic matter removal of 77.27 % and 76.93 % respectively, and 85.83 % of TSS, achieving a final COD, BOD₅ and TSS reduction of 102.43 mg/L, 59.50 mg/L and 313.93 mg/L respectively, achieved to reduce the concentration to their Maximum Permissible Limits for COD and BOD₅. Using the wetland with rhizobacteria, the removal efficiency of COD and BOD₅ organic matter was improved to 96.68 % and 96.67 % respectively, and 94.88 % for SST, managing to reduce their concentrations to the Maximum Permissible Limits for wastewater effluents. domestic reaching values of 14.97 mg/L, 8.07 mg/L and 113.43 mg/L for COD, BOD₅ and TSS respectively. All efficiency results obtained were achieved at a gravel to sand ratio of 1:2 and 5 days of contact. In conclusion, artificial wetlands with *Typha domingensis* (totora) rhizobacteria reduce organic matter and suspended solids up to the Maximum Permissible Limits for effluents of domestic wastewater from Discharge N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.

Keywords: artificial wetland, rhizobacteria, COD, BOD₅, TSS, gravel, sand, contact time.

INTRODUCCIÓN

¹ La remoción de contaminantes de las aguas residuales (AR) municipales se realiza mediante diversas tecnologías, sin embargo, los procesos de tratamiento biológico, que incluyen la asimilación, la biodegradación, el metabolismo, la adsorción, la floculación, la precipitación y el intercambio iónico, a menudo se consideran las opciones de tratamiento más rentables y ambientalmente sostenibles (1), porque solo dependen del uso de plantas y microorganismos comunes para eliminar las cargas contaminantes de las AR. Varios tipos de sistemas de humedales proporcionan procesos biológicos naturales además de los procesos físicos y químicos, y estos desarrollos combinados son responsables de la eliminación de contaminantes de las AR (2). Además, las plantas de humedales se han aplicado con éxito para tratar ARD e industriales, por ejemplo, el junco ha sido reportado como un "motor" para la absorción de nutrientes de las ARD, actuando como un catalizador para la purificación al aumentar la diversidad en la rizosfera y mejorando una variedad de reacciones biológicas y químicas que apoyan la purificación (3).

Los humedales artificiales son alternativas de tratamiento verde prometedoras a las unidades de tratamiento de AR convencionales. Tienen bajos costos operativos y de inversión, producen efluentes de alta calidad con menos disipación de energía y son bastante simples de operar (4). Los estudios de humedales artificiales muestran que los porcentajes de remoción de DQO, SS y DBO son generalmente altos, mientras que los puntos de remoción de nutrientes (particularmente nitrógeno y fósforo) suelen ser más bajos y más inconstantes (5). Entre los diversos tipos de ¹⁵ humedales de tratamiento construidos, los humedales construidos de flujo vertical representan el diseño de vanguardia que atrae un interés cada vez mayor en todo el mundo (6). Los principales beneficios de este tipo de diseño son las menores demandas de área en comparación con otros sistemas de humedales y el hecho de que proporcionan suficiente oxígeno dentro del lecho para la nitrificación (1).

²⁸ La investigación consta de cuatro capítulos; en el cual, el primer capítulo abordó la problemática de la remoción de contaminantes de las ARD empleando humedales artificiales con y sin rizobacterias, de la problemática se formuló los problemas, objetivos, ¹ justificación e hipótesis de investigación y la operacionalización de variables.

En el Capítulo II se consignó que contribuyeron de manera teórica a la investigación, además de información correspondiente a los tratamientos de AR domésticas con

humedales artificiales y definición de términos básicos para el mejor entendimiento de la investigación.

En el Capítulo III se especificó el método de investigación que se empleó, el diseño que nos ayudó a lograr los objetivos de investigación, la población y muestra de estudio y las técnicas e instrumentos de recolección de datos empleados en el desarrollo experimental de la investigación.

Finalmente, el cuarto capítulo contiene los resultados experimentales obtenidos y la discusión de estos resultados en base a otras investigaciones que consolidaron la investigación.

Las autoras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En los últimos años, la demanda de tratamiento de (AR) ha aumentado drásticamente debido al crecimiento de la población. Según el informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas de 2019 (7).

El vertido de (AR) domésticas sin tratar al medio ambiente es una de las principales causas del deterioro de la calidad de las aguas superficiales, principalmente en las zonas urbanas (7), por lo tanto, su eliminación adecuada es un paso importante para proteger el medio ambiente y los organismos (8).

Tratar AR domésticas mediante humedales se considera rentable, baja inversión de capital, bajo requerimiento de energía, bajo mantenimiento, respetuoso con el medio (7) y tiene una gran eficiencia para eliminar los SST, DBO, los coliformes totales y fecales, el nitrógeno, DQO y el fosfato (9).

Sin embargo, la eficacia del tratamiento depende en gran medida de las especies seleccionadas (8) y de la exposición a los microbios (10).

Debido a su rápido crecimiento, alta acumulación de biomasa y gran resistencia al estrés la planta de totora (*Typha angustifolia*) (11) tiene la capacidad de utilizarse para tratar AR (6) ya que puede absorber y trasladar macronutrientes del sustrato a los tejidos de las hojas y posee un extenso sistema radicular rizomatoso que se puede utilizar como filtro para quitar los nutrientes de las AR (9). Sin embargo, existe información limitada sobre la importancia de *Typha domingensis* y su papel en el tratamiento de AR municipales (10).

La acción microbiana depende en gran medida de las raíces (12); se cree que estas rizobacterias tienen la capacidad para sobrevivir en número suficiente y colonizar satisfactoriamente las raíces de las plantas pero, está poco estudiada. Algunos autores sugieren que el bioaumentación provoca un cambio significativo en las comunidades microbianas (8) haciendo que estas bacterias pueden usarse para mejorar el rendimiento de los humedales (13).

Este trabajo evaluará la capacidad de humedales bioaumentados aislados de raíces de *Typha domingensis* (totora) para eliminar la DQO, la DBO y los sólidos solubles totales de las aguas residuales.

2 1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia de los humedales artificiales (HA) con y sin rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) en la disminución de contaminantes de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Qué concentración inicial de DQO, DBO₅ y SST presenta el ARD?

- ¿Cómo influye el tiempo de contacto en los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD?
- ¿Cómo influye la adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD?
- ¿Cómo influye la proporción de altura de grava/arena en los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD?

2 1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de los HA con y sin rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) en la disminución de contaminantes del ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.

2 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de DQO, DBO₅ y SST que presenta el ARD.
- Determinar cómo influye la proporción de altura de grava/arena en los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.
- Determinar cómo influye el tiempo de contacto en los HA para la disminución de materia y sólidos suspendidos del ARD.
- Determinar la influencia de la adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.

1.3. Justificación e importancia

La eliminación de ARD sin un previo tratamiento a las fuentes de agua ¹ es una de las causas para el daño de la calidad del agua superficial, principalmente en áreas urbanas (7). Los cuerpos de agua contaminados perturban sistemas enteros de agua dulce, afectando la vida de los animales, la vegetación e incluso de los microbios (14).

1.3.1. Ambiental

Debido a la creciente contaminación por AR, el tratamiento de estos efluentes es una necesidad creciente en las áreas en desarrollo de la agricultura como la ciudad de Huancayo. Se busca un tratamiento eficiente de AR domésticas a través de los HA ya que es sostenible, de bajo costo operativo y de huella de carbono reducida (15) utilizando el potencial metabólico de los microorganismos de las rizosferas, la acción de las plantas de totora (*Typha domingensis*) y un sustrato.

1.3.2. Social

La importancia de que las AR sean tratadas también implica el ámbito social pues el desarrollo de las ciudades demanda que se busquen procesos de tratamiento eficientes para las grandes cantidades de efluentes de AR y, a la vez, que estos procesos sean eficientes para que se cumplan las normativas, ya que la contaminación del agua es una amenaza a la salud humana y animal.

¹ 1.4. Hipótesis y variables

1.4.1. Hipótesis general

- H_0 : Los humedales artificiales con rizobacterias de la *Typha domingensis* (tatora) no disminuyen la materia orgánica de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.
- H_a : Los humedales artificiales con rizobacterias de la *Typha domingensis* (tatora) disminuyen la materia orgánica de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.

1.4.2. Hipótesis específicas

- El ARD presenta alta concentración de DQO, DBO₅ y SST.
- La proporción de altura de grava/arena en los humedales artificiales tiene un efecto significativo en la remoción de la materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.
- El tiempo de contacto afecta significativamente en los humedales artificiales para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.
- La adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los humedales artificiales disminuye significativamente la materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.

¹ 1.4.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

Variables	Descripción conceptual	Descripción operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente Humedales artificiales	Tecnologías diseñadas para descomponer la materia orgánica a través de procesos físicos, químicos y microbianos, eliminando así la materia orgánica (16).	La eliminación de contaminantes de sistemas de tratamiento de HA se debe a mecanismos biológicos, químicos y físicos, a través de	Tipo de tratamiento con rizobacterias de la <i>Typha domingensis</i>	Cantidad (con y sin)	Escala McFarland
		los procesos de sedimentación, filtración, absorción, adsorción, interacciones microbianas, volatilización, complejación y extracción por las plantas.	Proporción de grava/arena	Altura	cm
			Tiempo de contacto	Intervalos de tiempo	Días
Variable dependiente Disminución de contaminantes	Es un conjunto de compuestos orgánicos, inorgánicos y/o sustancias tóxicas presentes en el AR de origen de diferentes actividades antropogénicas e industriales (11).	Concentración de contaminantes eliminados después del tratamiento del humedal.	Disminución de materia orgánica	DBO ₅ DQO	ppm (mg/L)
			Disminución de SST	SST	ppm (mg/L)

3 Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la investigación "Evaluación de humedales construidos de flujo vertical intermitente para agua de acuicultura de alta calidad" examina el agua para vida silvestre de los humedales construidos (HA) con filtros pulimento (FP) La altura superficial del HA era de $72 \text{ mm}^3/\text{mm}^2\text{d}$ y el HA se distribuyó en flujo vertical intermitente en dosis de 1000 L cada uno durante cuatro días. La superficie del HA era de 55 m^2 . La eliminación de los componentes orgánicos que contiene fósforo, nitrógeno y carbono es el objetivo del HA. La superficie de $1,8 \text{ m}^2$ de FP se instala para facilitar el proceso de desnitrificación y aumenta la eliminación de PO_4^{3-} . Durante 12 meses de operación, la demanda química global de oxígeno (DQO) disminuyó en un 92 %, así como el N-NH_4 en un 85 % y PO_4^{3-} en un 80 % (17).

En el estudio donde implementaron un tren de tratamiento de Ozono/UV para la remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo de ARD, se tuvo como objetivo remover materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Para lograrlo, se utilizó un sistema de fitorremediación que incluía dos humedales: uno subsuperficial con *Scirpus lacustris* y otro superficial con *Lemna gibba* ambos humedales tenían una capacidad de 30 y 72 L respectivamente, operaron en intervalos de retención hidráulica de 3, 2 y 1 día. El proceso

de O₃/UV utiliza un generador de ozono y una lámpara UV de 254 nm de longitud de onda para realizar el tratamiento inicial o final del agua a tratar. El reactor puede almacenar 19 L. Finalmente se encontró que un tren de tratamiento 1 integrado por *Scirpus lacustris* - *Lemna gibba* - O₃/UV durante un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 3 días resultó en una eliminación de DQO del 95 %, 49 % de amonio, 23 % de nitrato y 56 % de fósforo total. El tren de tratamiento 2, O₃/UV - *Scirpus lacustris* - *Lemna gibba*, así como los resultados de un TRH de 3 días que mostraron un buen potencial para la depuración de agua AR municipal. Las eficiencias de DQO fueron del 86 %, 42 %, 59 % y 19 % respectivamente (18).

En la investigación, eliminaron contaminantes de nitrógeno de las AR del café utilizando diferentes humedales diseñados donde evaluaron la eficiencia de eliminación de compuestos de nitrógeno y materia orgánica de las AR beneficiosas húmedas del café en humedales subterráneos diseñados con dos patrones de flujo diferentes. Alimentación plana y mixta. La caña de azúcar se utiliza como material vegetal. Ambos sistemas operaron continuamente durante 80 días a temperatura ambiente con un tiempo de retención hidráulica de 8 días. Se evaluaron los siguientes parámetros: DQO, NTK, NH₄, NO³⁻ y NO²⁻, así como parámetros de pH y conductividad. Se obtuvieron altos porcentajes de eliminación de DQO (97 % y 95 %), NTK (97 % y 95 %) y NO³⁻ (100% y 97%) para humedales horizontales y mixtos respectivamente. La disponibilidad de materiales orgánicos no es una limitante para el desarrollo del proceso de desnitrificación. Por otro lado, una alta concentración de NTK favorece el mecanismo del amoníaco, proporcionando un bajo porcentaje de remoción de NH₄. El flujo de nutrientes es un factor crítico en el diseño de humedales. Estos sistemas se pueden utilizar para tratar las aguas residuales del café (19).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En este estudio, buscaron demostrar la importancia de los humedales construidos en el tratamiento de las ARD: además, determinar la aplicación del uso de humedales construidos para el tratamiento de ARD. El material

de estudio consistió en el afluente de ARD de la Compañía Minera Barrick. Además, la escorrentía superficial creó humedales al nivel de la planta piloto. Se analizaron varios parámetros, incluidos SST (mg/L), DBO₅ (mg/L), coliformes totales (NMP/100 mL), coliformes fecales (NMP/100 mL), pH, temperatura (°C) y oxígeno disuelto (OD) (mg/L). Además, se realizaron cálculos sobre la tasa de oxigenación, los coliformes fecales y totales, así como el porcentaje de eliminación de DBO₅. Los resultados permitieron estimar la eficiencia de la eliminación de DBO₅ (73,00 %), coliformes fecales (93,00 %), SST (84,00 %), coliformes totales (86,00 %) y la tasa de aumento de oxígeno disuelto de 18,73 %; se concluyó que la humidificación artificial es un ecosistema efectivo para el tratamiento de AR de manera segura, confiable, estética y económica. Los humedales construidos no requieren aporte energético adicional y son capaces de remover contaminantes de manera eficiente. Su funcionamiento se basa en el efecto integral de plantas, microorganismos y sustratos, que en conjunto contribuyen a una depuración efectiva (20).

En el trabajo de tratamiento de ARD en HA de flujo superficial horizontal por la nueva especie de macrófitos *Cyperus papyrus* (papiro), se evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbianos (DBO₅, DQO, nitrógeno total, fósforo total, turbidez, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos disueltos, pH, conductividad, coliformes totales y coliformes fecales) utilizando HA de flujo subsuperficial horizontal con aguas residuales domésticas con la nueva especie de macrófitos. Las dimensiones del humedal se obtuvieron a partir de caudal de entrada (0,03 m³/día) y consumo biológico de oxígeno (285,10 g/m³), largo 1,20 m, ancho 0,60 m, alto 0,60 m, pendiente 1 %. El análisis de los resultados mostró antes y después de todos los aspectos físicos (conductividad, OD, turbidez, pH, SDT y temperatura), químicos (DQO, nitrógeno total DBO y fósforo total) y microbiológicos (coliformes totales y fecales). El cual logró 96 % DBO y DQO, 78 % nitrógeno total, 88 % fósforo total, 55 % conductividad y sólidos disueltos totales, 61 % oxígeno disuelto, 96 % turbidez, 68 % pH y 100 % eficiencia de coliformes fecales totales, en general, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tiene una buena eficiencia de remoción (21).

2.1.3. Antecedentes regionales y locales

La investigación consistió en plantear un modelo de tratamiento para AR utilizando humedales artificiales de flujo superficial ubicado en el Centro Poblado La Punta, distrito Sapallanga en el año 2017, desarrolló una investigación aplicada, a nivel explicativo y con un método científico, diseño no experimental transversal, donde su población consistió en 8 humedales naturales de las cuales 6 fueron la muestra seleccionada, los muestreos fueron al ingreso y salida de cada humedal cabe mencionar que el pretratamiento para el afluente consiste en una rejilla y canal de aproximación, un desarenador, canal Parshall, cámara de estabilización de sólidos, laguna de maduración ya en la etapa de tratamiento mediante humedal artificial de flujo superficial con las siguientes dimensiones: área superficial de 242,21 m², longitud del humedal 26,96 m, ancho del humedal de 8,99 m, altura de 0,6 m, con un tiempo de retención hidráulico de 1,71 días, área transversal de 5,39 m² y reservorio de geometría rectangular para acumulación. De este modo se llegó a la siguiente conclusión: la propuesta de modelo de tratamiento mediante HA de flujo superficial en El barrio Mallqui es adaptable, ya que los parámetros físicos, químicos, biológicos, climáticos, hidráulico de la zona tienen similitud a los parámetros físicos, químicos, biológicos, climáticos, hidráulicos de los HN de Sapallanga (22).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Contaminación de fuentes de agua

Recurso natural renovable, fundamental para todas las formas de vida. El uso con mayor importancia se da en la agricultura, en los hogares, en las industrias y la producción de energía eléctrica (10). Las descargas industriales, agrícolas y domésticas han hecho que se deteriore introduciendo diferentes tipos de contaminantes y condiciones que alteran su calidad haciendo de ella un riesgo para la salud de las personas y los ecosistemas (23).

2.2.2. Aguas residuales doméstica (ARD)

Las ARD pertenecen a la clasificación de AR y éstas están definidas como las que proceden de las instalaciones sanitarias, las áreas de cocina, lavado y el aseo personal dentro del hogar, donde estas AR comúnmente presentan materia orgánica, organismos patógenos, grasas, nutrientes y sólidos (23).

2.2.3. Remediación de AR

En el tratamiento de AR mediante los sistemas de HA y el uso de endófitos, ha demostrado ser más eficiente ya que poseen características de resistencia a los contaminantes, así como capacidad de degradar, además, estimulan las interacciones planta microbio los cuales facilitan y mejoran la eficiencia de remediación (15).

2.2.4. Humedales naturales (HN)

Los humedales naturales (HN) son ambientes con alta humedad y rica vegetación, con ciertas propiedades químicas, físicas y biológicas que les confieren un alto potencial de autodepuración. Los HN pueden ser muy complejos, con un mosaico de niveles de agua subterránea, áreas de nivel de agua alto o cercano a la superficie vegetación flotante, sumergida y emergente (24).

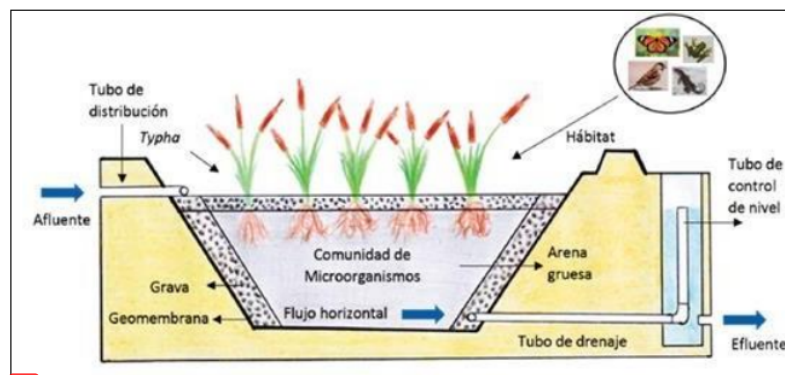
2.2.5. Humedales artificiales (HA)

Los HA son hábitats ¹⁶ diseñados para manipular los procesos biológicos dentro de un entorno natural que se puede controlar. Son útiles por tener un sistema de mantenimiento y operación simples, ¹⁶ ser energéticamente eficientes y por lo tanto rentables, facilitando un medio de vida silvestre en lugares urbanas, aportando un valor atractivo dentro del entorno local (22).

1 2.2.6. Clasificación de HA

2.2.6.1. Humedal de flujo sub superficial horizontal (FSSH)

El agua en el humedal fluye de modo horizontal a través del sustrato, pasando zonas anaerobias, anóxicas y aerobias. Es muy eficiente para eliminar sólidos en suspensión y materia orgánica (23).

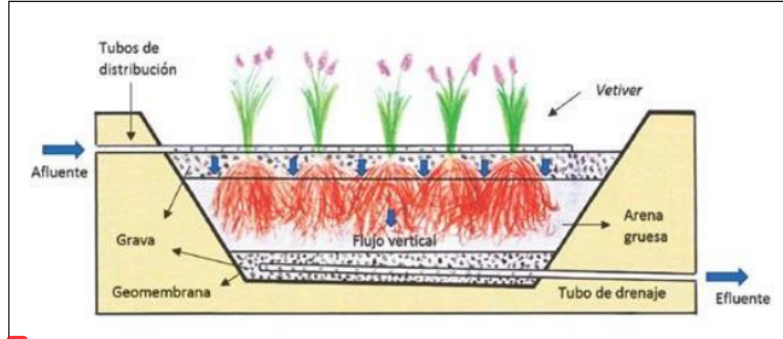


13 Figura 1. Humedal de flujo sub superficial horizontal (FSSH).

Fuente: Pérez, García y Jauregui (22).

13 2.2.6.2. Humedal de flujo sub superficial vertical (FSSV)

En este proceso el flujo del agua es depurada en forma vertical a través del agua residual u otro sustrato, realizado de forma intermitente. Es eficaz para la remoción de DBO, DQO y patógenos, los cuales con más altas que en el sistema horizontal (23).



1 *Figura 2. Humedal de flujo sub superficial vertical (FSSV).*

Fuente: Pérez, García y Jauregui (22).

2.2.7. Componentes de los HA

2.2.7.1. Sustrato

El sustrato es un componente que influye en el oxígeno disuelto, en el hidropérido, el crecimiento vegetal y microbiano, asimismo, este es importante ¹² en la reducción de nutrientes, materia orgánica, sólidos suspendidos y materia orgánica dentro de sus principales funciones tenemos.

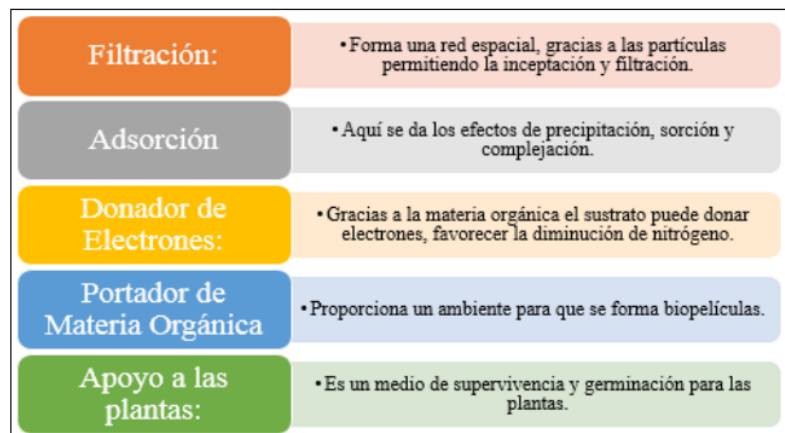


Figura 3. Principales funciones del sustrato.

Fuente: Espitia (23).

Entre los sustratos más utilizados dentro de los HA tenemos el siguiente cuadro.

Tabla 2. Sustratos más utilizados dentro de los HA.

Tipo de material	El uso en diferentes tipos de AR	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (n) %
Arena gruesa	Agua sintética	2	28-32
Arena gravosa	Agua sintética	8	30-35
Grava fina	Agua doméstica	16	35-38
Grava media	Agua doméstica	32	36-40

Fuente: adaptado de lo propuesto por Katakai *et al.* (15) y Espitia (23).

2.2.7.2. Vegetación

Los efectos físicos de las plantas en los HA se dividen en las expuestas de forma directa al flujo del AR, y los que se localizan directamente con los sedimentos. Inicialmente se absorben nutrientes, disminuyen la suspensión, inducen la sedimentación y disminuyen la velocidad del flujo de agua, mientras que la otra parte mejoría de la conductividad hidráulica, la prevención de la

obstrucción del medio, absorción de nutrientes, dificultan los procesos de erosión y estabilizan la superficie de los sedimentos. La diversidad de la vegetación es un factor importante en la capacidad de los humedales para eliminar contaminantes (22).

Múltiples variedades de plantas son usadas en el tratamiento de AR en los sistemas de humedales. Éstas cumplen una importante función como la de eliminación de nutrientes, producción de oxígeno, absorción de nutrientes, disminución del impacto de los rayos del sol, incrementa la porosidad del sustrato y genera un medio propicio para el crecimiento de microorganismos (23).

La vegetación en un sistema de HA se puede clasificar de la siguiente manera (15):

- Flotación libre o flotante con la mayoría de sus partes fotosintéticas sobre la superficie del agua y la raíz abajo.
- Arraigada sumergida que crece completamente bajo el agua con raíces adheridas al sustrato.
- Sumergida libre que crece completamente bajo el agua sin ningún sistema de raíces.
- Emergente arraigado en aguas poco profundas con partes vegetativas que emergen por encima de la superficie del agua.
- Sumergido con hoja flotante está enraizada en el sustrato con la hoja flotando en el agua.
- Anfíbio arraigado en la superficie y bordes del sistema de humedales.

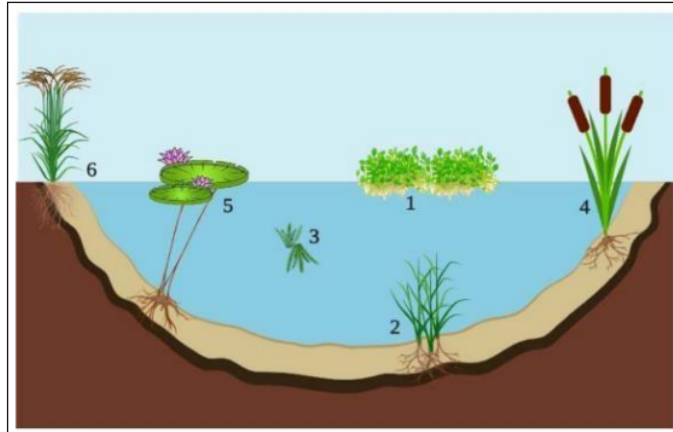


Figura 4. Clasificación de plantas de humedales.

Fuente: Espitia (23).

2.2.7.3. Microorganismos

El desarrollo de los microorganismos es posible por la presencia de materiales carbonosos, nitrógeno amoniacal y nitrato presentes en el agua residual doméstica. Los hongos, bacterias y algas son importantes en la eliminación de contaminantes (23).

La rizosfera de macrófitas incita el crecimiento de comunidades microbianas, por lo que algún cambio en la diversidad vegetal y su hábitat provocará modificaciones en los grupos microbianos y mejorará la eficiencia de eliminación de contaminantes (22).

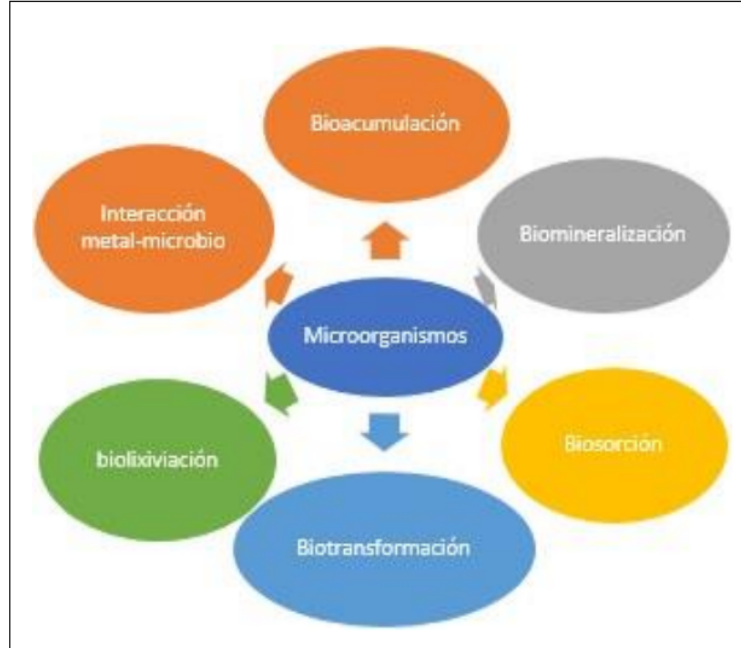


Figura 5. Acción de los microorganismos.

Fuente: Espitia (23).

2.2.8. *Typha domingensis* (totora)

Es de tipo emergente perenne; se encuentra distribuida en las partes templadas del hemisferio norte, Sudáfrica, América, Australia. Según la literatura, es adecuado especialmente para alta carga de materia orgánica y amoníaco-N, tiene alto rendimiento de biomasa, posee propiedades térmicas adecuadas y presenta tolerancia a metales pesados aparte de no ser invasivo y presentar bajo flujo de metano (15).

En los HA de flujo subsuperficial, la especie *T. domingensis* es la más utilizada en América Central y Sudamérica (22).

2.2.9. Rizobacterias

Las rizobacterias son una comunidad de bacterias capaces de invadir competitivamente las raíces de especies vegetales, estimular el desarrollo de las especies vegetales y reducir la incidencia de enfermedades utilizando una variedad de mecanismos moleculares. Los estímulos de crecimiento de las plantas son producidos por las rizobacterias y pueden afectar directa o indirectamente el metabolismo y la fisiología de las plantas (25).

Las rizobacterias establecen tres pasos fundamentales para que se dé una buena estimulación del crecimiento vegetal y el cuidado de ella (ver figura 6) (25):

- La atracción de bacterias a las áreas de las raíces de las plantas mediada por quimiotaxis bacteriana específica para secreciones vegetales específicas, estos compuestos pueden actuar como fuentes de carbono y actuar como moléculas de señalización.
- Adhesión y localización a la superficie de la raíz. Las bacterias deben poder adherirse a las semillas o raíces de las plantas para sobrevivir más tarde; un proceso competitivo influenciado por las características genéticas de los rizomas y los taxones hospedantes. Además, se ha observado que la adhesión de ciertas cepas bacterianas es específica a la rizosfera, mostrando un patrón de localización específico en diferentes plantas.
- Funciones de asociación simbiótica. Intervienen en el establecimiento efectivo de relaciones planta-microbio, que pueden ser beneficiosas: 1) regulando el equilibrio hormonal de las plantas por la producción de hormonas vegetales o VOCs o por el catabolismo de la planta, 2) mejorar la nutrición de las plantas a través de la fijación de nitrógeno biológicamente y la solubilidad en fosfatos, y 3) mantener la salud de las plantas.

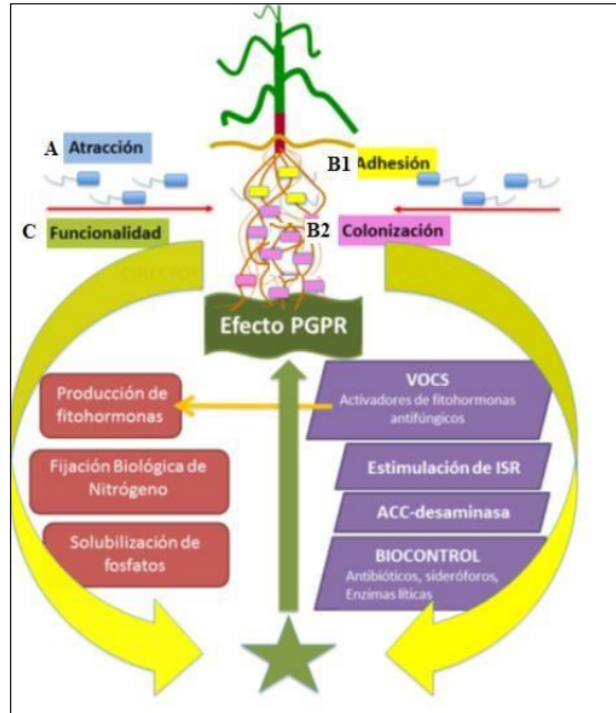


Figura 6. Pasos fundamentales para que se dé una buena estimulación del crecimiento vegetal.

Fuente: Molina-Romero *et al.* (25)

2.3. Definición de términos

- AR: mezcla de líquidos que acarrean efluentes contaminados de los hogares, comercios, industrias e instituciones, así como aguas del sub suelo, superficiales y de las que provienen de las lluvias (26).
- ARD: es un tipo de efluente residual el cual tiene como fuente de generación los baños, cocinas y del lavado de los hogares, de las oficinas y centros comerciales (27).
- Contaminación de agua: degradación del agua debido a compuestos y medios biológicos, físicos y químicos que generan un medio de contaminación a un cuerpo de agua que estaba destinado a algún uso provechoso (26).
- Endófitos: son diferentes tipos de organismos que habitan en los tejidos vegetales de forma que no ocasiona daños a la planta (28).

- Humedales: fracciones de parcelas donde el nivel del agua permanece a nivel de la misma porción de tierra haciendo que se creen condiciones de saturación del suelo y se origina el crecimiento de vegetación (16).
- Humedales artificiales: son sistemas que llevan a cabo complejos procesos de depuración natural, física, química y biológica (16).
- Macrófitos: son las conocidas como plantas acuáticas generalmente tienen grandes rizomas que promueven al crecimiento y esto les ofrece una opción excelente para la eliminación de contaminantes en las raíces como en los brotes (14).
- Rizobacterias: son bacterias del suelo que existen en las raíces de las especies vegetales y en las tierras adheridas, y que ayudan a que crezca y se desarrolle mediante la secreción de moléculas reguladoras (8).

3 CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Enfoque de la investigación

Se planteó una investigación de enfoque cuantitativo; de acuerdo con Hernández *et al.* (29), dicho enfoque tiene como propósito considerar los efectos de algunas variables en otras.

22 3.1.2. Métodos de la investigación

3.1.2.1. Método general

Se trabajó con un método general cuantitativo-deductivo, ya que de acuerdo con lo que mencionan Hernández *et al.* (29), se plantearon los problemas de investigación definiendo los objetivos y preguntas en base a lo que queremos hacer y lo que queremos saber. Además, se trabajó con un conjunto de procesos secuenciales.

3.1.2.2. Método específico

El método específico partió del primer paso del método científico que es la observación, siendo la base en la obtención de datos para toda investigación (29).

² 3.1.3. Tipo de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada, ya que según Hernández *et al.* (29) se establecieron precedentes de investigaciones; además, se evaluó, comparó, interpretó y determinó la causalidad y las implicaciones de las variables.

¹ 3.1.4. Nivel de la investigación

El nivel de investigación fue correlacional, pues se estableció la relación de las variables, además, la prueba de significancia en términos de influencia se asoció al hecho de establecer el nivel de relación del tiempo de contacto así como la consideración de la velocidad de agitación los cuales pueden suponer el alcance de una eficiencia adecuada (29).

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue un DBCA (Diseño de Bloques Completamente Aleatorio) en base a lo que explican Melo *et al.* (30) en su libro "Diseño de experimentos: métodos y aplicaciones", ya que existen variables de respuesta como la DQO, DBO₅ y SST, un factor principal que es el tratamiento de los humedales con y sin las rizobacterias y dos factores de bloques que afectan, que es el tiempo de contacto y la proporción de altura del sustrato.

Tabla 3. *Diseño de bloques completamente al azar con repeticiones.*

Tratamiento	Tiempo de contacto (días)	Proporción de grava/arena	R- I	R- II	R-III
T1 (sin rizobacteria)	1	1: 1,0	C _{fij}	C _{fij}	C _{fij}
T2 (sin rizobacteria)	3	1:1,5	C _{fij}	C _{fij}	C _{fij}
T3 (sin rizobacteria)	5	1:2,0	C _{fij}	C _{fij}	C _{fij}
T4 (con rizobacteria)	1	1:1,0	C _{fij}	C _{fij}	C _{fij}
T5 (con rizobacteria)	3	1:1,5	C _{fij}	C _{fij}	C _{fij}
T6 (con rizobacteria)	5	1:2,0	C _{fij}	C _{fij}	C _{fij}

Fuente: elaboración propia.

De la tabla, se denota:

*C_{fij}: concentración final de DQO, DBO₅ y SST.

Además, según Melo *et al.* (30), el modelo estadístico estaría definido de la siguiente manera:

$$Y_{ij} = \mu + r_i + \gamma_j + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

*Y_{ij}: variable de contestación.

*μ: valor promedio de todas las mediciones.

*r_i: variación de vida al factor principal.

*γ_j: variación de vida al factor de bloque.

*ε_{ij}: error de medición.

3

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población fue representada por las AR provenientes del "Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo" correspondiente a 824,50 L/s.

3.3.2. Muestra

La muestra la definiremos en función a la ecuación para poblaciones finitas:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * P * Q}{\epsilon^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * P * Q} \quad (1)$$

Donde:

- *n: tamaño de muestras.
- *N: población bajo estudio.
- *Z_α: valores correspondientes al valor de significancia.
- *ε: error de tolerancia de la investigación.

Por ende:

- *N: tamaño de la población: 824, 50 l
- *Z_α: para la investigación, se trabajó a un nivel de confianza del 95 %, por hecho el nivel de significancia fue:

$$\alpha = 1 - 0,95$$

$$\alpha = 0,05$$

$$1 - \frac{\alpha}{2} = 0,948$$

Se buscó el valor de 0,948 en la tabla de distribución normal, teniendo como valor:

$$*Z_{\alpha}: 1.96$$

$$*\epsilon: \text{error estimado: } 0.0395$$

$$*P: \text{probabilidad a favor (0.05)}$$

$$*Q: \text{probabilidad en contra (0.95)}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 1, se determinó el volumen requerido para el desarrollo de la investigación, la cual fue de 32,71 L/s.

8

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

- Análisis de campo.
- Ensayos de laboratorio.
- Corridas experimentales.

2

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Ficha de compilación de datos.
- Fichas de los parámetros del monitoreo de campo.
- Protocolo de la toma de muestra.

3.4.3. Materiales, reactivos y equipos

- Materiales:
 - Gorra.
 - Guantes.
 - Bolsas de plástico.
 - Botas.
 - Musleras.
 - Baldes.
 - Tubo PVC.
- Reactivos:
 - Agua destilada.
 - Agua salina.
 - Caldo de soja tréptico.
 - Tampón fosfato.
- Equipo:
 - Centrifugadora.

¹ 3.4.4. Procedimientos

3.4.4.1. Etapa de pre campo

A. Preparación para muestreo del AR

- Se alistó los materiales necesarios ¹ según el protocolo de monitoreo para la toma del AR.
- Se alistó los guantes, gorra, entre otros elementos para realizar la toma de muestra sin riesgo a la salud.

B. Extracción de la planta:

- Se alistó bolsas de plástico para el recojo de las plantas de totora junto con sus raíces.
- Se alistó botas, musleras, guantes y gorro entre otros Equipos de Protección Personal (EPP).

¹ 3.4.4.2. Etapa de campo

- A. La toma de muestra del agua residual se tomó en el Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - Huancayo con una totalidad de 60 L ² según el Protocolo del Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (31).
- B. La recolección de las plantas de totora (*Typha domingensis*) se realizó en la Laguna de Paca. El muestreo se realizó en ²¹ plantas de aproximadamente 30 cm de altura incluidas raíces y el sustrato adherido a ellas. Se guardaron en bolsas de plástico y se almacenaron a 4°C hasta su uso (32). Se utilizó 6 plántulas sanas de *Typha domingensis* por cada humedal.

3.4.4.3. Etapa de laboratorio

A. Construcción del humedal superficial de flujo vertical, según lo propuesto por Al-Baldawi (11), Venegas (33) y Bustamante *et al.* (34):

- Se elaboró los humedales con material de PVC.
- Las dimensiones fueron de 0,15 m de diámetro y de 0,30 m de alto, simulando un HA de flujo sub superficial vertical.
- Su sistema de drenaje fue establecido con un orificio de media pulgada en la base para la extracción de la muestra y fue regulada por una válvula.
- El medio de relleno de humedal estuvo compuesto por grava (10 mm - 20 mm) y arena (1 mm - 2 mm) con una proporción de 1:1, 1:1,5, 1:2 que corresponde a 8 cm de grava para cada humedal y 8 cm, 12 cm y 16 cm de arena, y encima de cada uno de ellos se colocó una mezcla de tierra negra y compost de 3 cm de alto en una proporción de 1:1 (11).
- El agua suministrada a los humedales fue de 4 L teniendo en cuenta que la capacidad del volumen total del humedal es de aproximadamente de 5,3 L.
- Se plantó 6 unidades de totora por humedal para que se adapten durante un mes antes de la experimentación. Durante este tiempo, los humedales fueron regados con 930 L de agua potable por día durante 20 días de lunes a viernes y 5 días con agua residual para que se fueran a aclimatar.
- Para el abastecimiento de agua se instaló un tanque de plástico de 4 L por cada humedal regulado por una válvula unido a una tubería de media pulgada de 0,6 m de forma vertical.
- La altura del agua se estableció a 3 cm por encima del borde de la cuba.

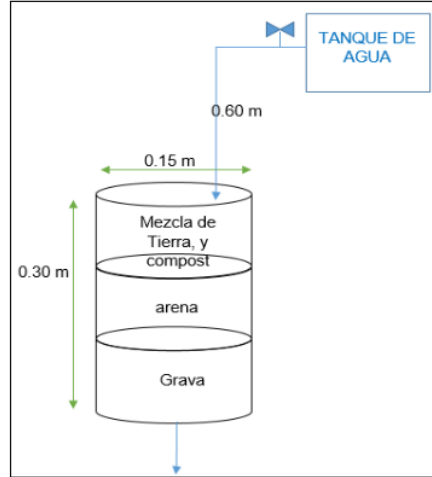


Figura 7. Diseño del humedal artificial.

Fuente: elaboración propia.

B. Tratamiento a las plantas de totora, adaptado de Salgado *et al.* (13) y Saleem *et al.* (35): se aplicó un proceso de esterilización para las plantas que fueron bioaumentadas con rizobacterias posteriormente:

- Se realizó un lavado previo con agua potable a la planta incluyendo hojas y raíces.
- Se lavó con etanol al 70 % por 30 segundos.
- Seguidamente, se lavó con NaClO al 20 % por 30 min.
- Se realizó cinco lavados en agua estéril.
- Finalmente se sembró en los humedales.
- El tiempo para que las plantas de totora se establezcan y adapten fue de 25 días.

C. Plantas sin tratamiento, adaptado de Salgado *et al.* (13) y Saleem *et al.* (35):

- Las plantas sin ningún tipo de esterilización fueron sembradas en los humedales.
- El tiempo de establecimiento y adaptación fue de 25 días.

D. Síntesis de rizobacterias:

D.1.: Obtención de aislados de la rizosfera, adaptado de Al-Baldawi (11):

- Se recolectaron 10 g de raíces de plantas de totora y luego se sumergieron en 100 mL de agua destilada estéril para alcanzar un 10^{-2} de dilución.
- Esto se agitó a 150 rpm durante 1 h para liberar los microorganismos adheridos.
- Después de transferir de 1 mL a 9 mL de agua salina estéril a 0,9 %, se hicieron diluciones hasta 10^{-4} .
- Para la preparación del agua salina estéril. se diluyeron 9 g de NaCl en un litro de agua destilada estéril para poder obtener una solución salina al 9 %.
- Luego, 0,1 mL de las tres diluciones (10^{-2} , 10^{-3} y 10^{-4}) se extendieron sobre placas estériles que contenían un medio de agar de soja tríptico.
- Las placas se incubaron invertidas a 37°C durante 24 h.
- El número de colonias contadas se multiplicó por el recíproco de la dilución y la cantidad sembrada; los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonias (UFC/mL).

D.2.: Inoculación, según lo propuesto por De Souza *et al.* (12):

- Se hicieron crecer cultivos puros de bacterias en caldo de soja tríptico mantenido en un agitador a 200 rpm durante 18 h.
- Después de ese tiempo, los cultivos se centrifugaron a 8000 g durante 10 min; se lavaron en tampón fosfato 50 mM (pH 7), se volvieron a centrifugar durante 1 min a 8000 g y finalmente se re suspendieron en 5 mL de tampón fosfato.

- Preparación de tampón fosfato de 50 Mm a pH = 7: para preparar 500 mL de solución tampón fue necesario 2,04 g de KH_2PO_4 , 1,74 g de K_2HPO_4 y 500 mL de agua destilada.
- Se agregaron 300 μL de cultivos bacterianos lavados al sistema de humedales.
- Las plantas de totora se inocularon con una mezcla de todas las bacterias aisladas. Los cultivos bacterianos se añadieron al mismo tiempo que se suministró el agua residual a las plantas.
- El número de bacterias viables en los humedales de las plantas se estimaron esparciendo diluciones en serie del agua residual en placas de agar de soja tríptico (TSA) y contando las colonias que se desarrollaron después de 2 días de crecimiento.

3.4.4.4. Etapa de experimentación

A. Agua residual sin tratamiento:

Se analizaron los parámetros iniciales de DQO, DBO_5 y SST de acuerdo a los métodos estandarizados en muestras de volumen de 500 mL.

B. Agua residual tratada:

- Se obtuvo las muestras de los humedales artificiales de la parte inferior por la tubería instalada.
- Se analizó las muestras para poder determinar las concentraciones DQO, DBO_5 y SST después del tratamiento.

Para ambas etapas experimentales, se siguieron métodos estandarizados.

2 CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados de la investigación

4.1.1. Caracterización del agua residual doméstica

Se caracterizó las ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo, donde se determinó los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO₅ y SST.

Tabla 4. *Parámetros fisicoquímicos del ARD.*

Parámetros fisicoquímicos	Valores (mg/L)
DQO	450,70
DBO ₅	257,90
SST	2215,10

Fuente: elaboración propia.

34
La tabla 4 muestra los valores para tres parámetros fisicoquímicos analizados en el agua residual doméstica, donde la DQO fue de 450,70 mg/L, la DBO₅ fue de 257,90 y los SST fueron 2215,10 mg/L.

2
Los LMP para efluentes de una PTAR se especifican en la siguiente tabla.

Tabla 5. *LMP para un efluente de agua residual doméstica.*

Parámetros fisicoquímicos	LMP (mg/L)
DQO	200
DBO ₅	100
SST	100

Fuente: Ministerio del Ambiente (36).

Comparando los valores de las tablas 4 y 5, podemos afirmar que las aguas residuales del Vertimiento N° 8 están superando los LMP para los tres parámetros analizados.

4.1.2. Tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial

Se empleó el humedal artificial como tecnología para remediar ARD, disminuyendo los valores de sus parámetros DQO, DBO₅ y SST a sus LMP determinados por el MINAM.

Después del tratamiento del ARD con el humedal artificial se lograron los siguientes resultados para los parámetros DQO, DBO₅ y SST en la primera réplica experimental.

Tabla 6. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial (1era réplica).

Proporción de Grava: Arena	Tiempo (días)	1era. Réplica		
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	235,60	129,40	698,40
1:1,5	3	141,50	75,30	489,10
1:2	5	101,80	60,70	312,60

Fuente: elaboración propia.

La tabla 6 indica los resultados de la primera réplica experimental del tratamiento del ARD con el humedal artificial; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 235,60 mg/L, 129,40 mg/L y 698,40 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de

contacto, se puede apreciar que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 101,80 mg/L, 60,70 mg/L y 312,60 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Con los resultados de la tabla 6, se realizó el porcentaje de reducción de DQO, DBO₅ y SST, empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ reducción}_{\text{parámetro}} = \frac{\text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{Concentración}_{\text{final}}}{\text{Concentración}_{\text{inicial}}} \quad (1)$$

En la tabla 4 se determinó el valor de las concentraciones iniciales de DQO, DBO₅ y SST, y en la tabla 6 se determinaron las concentraciones finales de DQO, DBO₅ y SST después del tratamiento con el humedal artificial.

Para la DQO en la primera réplica, reemplazando los datos obtenidos en las tablas 4 y 6 en la ecuación (1):

$$\% \text{ reducción}_{DQO} = \frac{450,70 \frac{mg}{L} - 235,60 \frac{mg}{L}}{450,70 \frac{mg}{L}} = 47.73 \%$$

Tabla 7. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HAI (1era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	1era. Réplica		
		DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
1:1	1	47,73	49,83	68,47
1:1,5	3	68,60	70,80	77,92
1:2	5	77,41	76,46	85,89

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 7 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 77,41 %, 76,46 % y 85,89 % respectivamente en la primera réplica, empleando los humedales artificiales por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

En la segunda réplica experimental, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros DQO, DBO₅ y SST.

Tabla 8. Resultados del tratamiento de ARD con el HA (2da réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	2da. Réplica		
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	237,40	127,40	702,60
1:1,5	3	142,50	76,50	485,20
1:2	5	103,10	58,40	315,40

Fuente: elaboración propia.

La tabla 8 indica los resultados de la segunda réplica experimental del tratamiento del ARD con el HA; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 237,40 mg/L, 127,40 mg/L y 702,60 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 103,10 mg/L, 58,40 mg/L y 315,40 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Para la DQO en la segunda réplica, reemplazando los datos obtenidos en la tabla 4 y 8 en la ecuación (1):

$$\% \text{ reducción}_{DQO} = \frac{450,70 \frac{mg}{L} - 237,40 \frac{mg}{L}}{450,70 \frac{mg}{L}} = 47.33 \%$$

Tabla 9. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HA (2da réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	2da. Réplica		
		DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
1:1	1	47,33	50,60	68,28

	1:1,5	3	68,38	70,34	78,10
7	1:2	5	77,12	77,36	85,76

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 9 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 77,12 %, 77,36 % y 85,76 % respectivamente en la segunda réplica, empleando los humedales artificiales por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

Para la tercera réplica experimental se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros DQO, DBO₅ y SST.

Tabla 10. Resultados del tratamiento de ARD con el HA (3era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	3era. Réplica		
		14 DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	236,90	126,40	703,40
1:1,5	3	141,90	76,90	486,10
4 1:2	5	102,40	59,40	313,80

Fuente: elaboración propia.

La tabla 10 indica los resultados de la tercera réplica experimental del tratamiento del ARD con el HA; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 236,90 mg/L, 126,40 mg/L y 703,40 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 102,40 mg/L, 59,40 mg/L y 313,80 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Para la DQO en la tercera réplica, reemplazando los datos obtenidos en la tabla 4 y 10 en la ecuación (1):

$$\% \text{ reducción}_{DQO} = \frac{450,70 \frac{mg}{L} - 236,90 \frac{mg}{L}}{450,70 \frac{mg}{L}} = 47.44 \%$$

Tabla 11. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HA (3era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	3era. Réplica		
		DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
1:1	1	47,44	50,99	68,25
1:1,5	3	68,52	70,18	78,06
1:2	5	77,28	76,97	85,83

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 11 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 77,28 %, 76,97 % y 85,83 % respectivamente en la tercera réplica, empleando los humedales artificiales por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

De las tres réplicas experimentales realizadas, se calculó el promedio de los resultados experimentales.

Tabla 12. Resultados del tratamiento de ARD con el HA (promedio).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	Promedio		
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	236,63	127,73	701,47
1:1,5	3	141,97	76,23	486,80
1:2	5	102,43	59,50	313,93

Fuente: elaboración propia.

La tabla 12 indica los resultados promedios del tratamiento del ARD con el HA; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 236,63 mg/L, 127,73 mg/L y 701,47 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 102,43 mg/L, 59,50 mg/L y 313,93 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Tabla 13. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el humedal artificial (promedio).

Tratamiento	Proporción de Grava: Arena	Tiempo (días)	Promedio		
			DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
T1	1:1	1	47,50	50,47	68,33
T2	1:1,5	3	68,50	70,44	78,02
T3	1:2	5	77,27	76,93	85,83

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 13 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 77,27 %, 76,93 % y 85,83 % respectivamente en promedio, empleando los HA por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

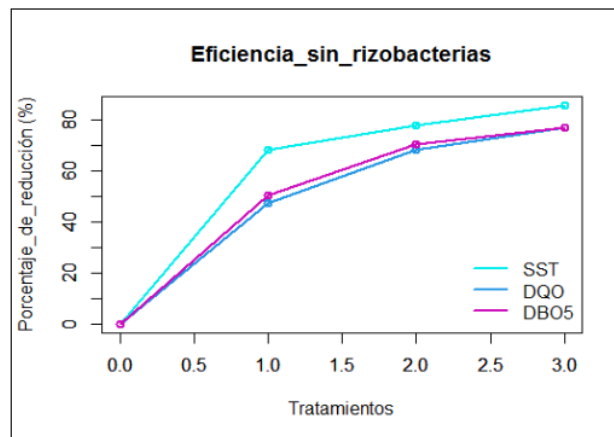


Figura 8. Eficiencia del tratamiento de AR con HA.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 8 se puede apreciar que la proporción de grava y arena de 1:2 del humedal artificial en contacto por 5 días con el agua residual doméstica (tratamiento 3) logró mejores porcentajes de reducción de DQO, DBO₅ y SST de las aguas residuales domésticas. La mayor eficiencia de reducción fue para el parámetro SST con 85,83 % de reducción, seguido del parámetro DQO con 77,27 %, finalmente 76,93 % para el parámetro DBO₅.

4.1.3. Proporción de grava y arena en el tratamiento del ARD con el HA

Se consideró 8 cm de grava para el humedal artificial y se complementó con arena 8 cm, 12cm y 16 cm, teniendo las proporciones de 1:1, 1;1,5 y 1:2. Se realizó el efecto de proporción de grava y arena en el tratamiento de ARD con los resultados promedios obtenidos en la tabla 12 y 13.

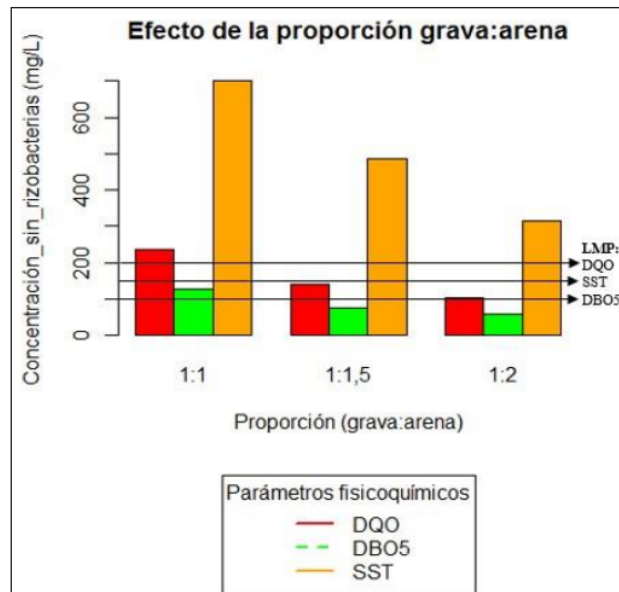


Figura 9. Efecto de la proporción grava:arena del HA en el tratamiento de ARD.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 9 se puede apreciar que se logró menores concentraciones de DQO, DBO₅ y SST cuando se empleó una proporción de grava y arena mayor. Para los parámetros DQO y DBO₅ se observa que el empleo del humedal artificial con una proporción de grava y arena de 1:2 logra reducir la concentración por debajo de los LMP establecidos, pero no se logró cumplir con los LMP para los SST.

4.1.4. Tiempo de contacto en el tratamiento del ARD con el HA

Se trabajó con 1 día, 3 días y 5 días de contacto entre el HA y las ARD. Se realizó el efecto del tiempo de contacto en el tratamiento de ARD con los resultados promedios obtenidos en la tabla 12 y 13.

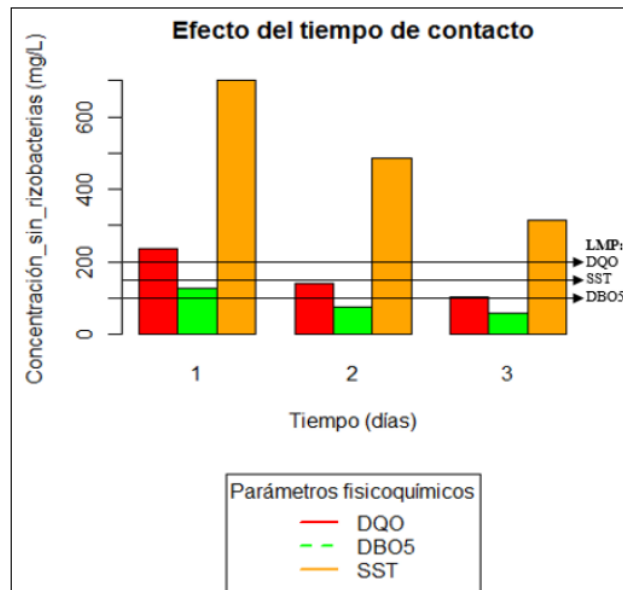


Figura 10. Efecto del tiempo de contacto en el tratamiento de ARD empleando el HA.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 10 se puede apreciar que se logró menores concentraciones de DQO, DBO₅ y SST cuando hubo un mayor tiempo de contacto. Para los parámetros DQO y DBO₅ se observa que el empleo del HA en contacto por 5 días con el agua residual doméstica, logra reducir la concentración por debajo de los LMP establecidos para la DQO y DBO₅, pero no se logró cumplir con los LMP para los SST.

4.1.5. Tratamiento del agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias

Se empleó el HA mejorado con rizobacterias como tecnología para remediar las ARD, disminuyendo los valores de sus parámetros DQO, DBO₅ y SST a sus LMP determinados por el MINAM.

Después del tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros DQO, DBO₅ y SST en la primera réplica experimental.

Tabla 14. Resultados del tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (1era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	1era. Réplica		
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	154,30	93,40	423,20
1:1,5	3	98,50	52,10	239,50
1:2	5	15,80	9,20	111,40

Fuente: elaboración propia.

La tabla 14 muestra los resultados de la primera réplica experimental del tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 154,30 mg/L, 93,40 mg/L y 423,20 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 15,80 mg/L, 9,20 mg/L y 111,40 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Con los resultados de la tabla 14, se realizó el porcentaje de reducción de DQO, DBO₅ y SST.

Para la DQO en la primera réplica, reemplazando los datos obtenidos en la tabla 4 y 14 en la ecuación (1):

$$\% \text{ reducción}_{DQO} = \frac{450,70 \frac{mg}{L} - 154,30 \frac{mg}{L}}{450,70 \frac{mg}{L}} = 65.76 \%$$

Tabla 15. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (1era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	1era. Réplica		
		DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
1:1	1	65,76	63,78	80,89
1:1,5	3	78,15	79,80	89,19
7 1:2	5	96,49	96,43	94,97

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 15 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 96,49 %, 96,43 % y 94,97 % respectivamente en la primera réplica, empleando los HA mejorados con rizobacterias por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

En la segunda réplica experimental, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros DQO, DBO₅ y SST.

Tabla 16. Resultados del tratamiento de agua residual doméstica con el humedal artificial mejorado con rizobacterias (2da réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	2da. Réplica		
		9 DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	155,60	91,50	426,80
1:1,5	3	99,10	56,40	234,80
1 1:2	5	13,80	7,40	115,40

Fuente: elaboración propia.

La tabla 16 muestra los resultados de la segunda réplica experimental del tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 155,60 mg/L, 91,50 mg/L y 426,80 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 13,80 mg/L, 7,40 mg/L y 115,40

mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Para la DQO en la segunda réplica, reemplazando los datos obtenidos en la tabla 4 y 16 en la ecuación (1):

$$\% \text{ reducción}_{DQO} = \frac{450,70 \frac{mg}{L} - 155,60 \frac{mg}{L}}{450,70 \frac{mg}{L}} = 65.48 \%$$

Tabla 17. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (2da réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	2da. Réplica		
		DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
1:1	1	65,48	64,52	80,73
1:1,5	3	78,01	78,13	89,40
1:2	5	96,94	97,13	94,79

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 17 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 96,94 %, 97,13 % y 94,79 % respectivamente en la segunda réplica, empleando los HA mejorados con rizobacterias por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

Para la tercera réplica experimental, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros DQO, DBO₅ y SST.

Tabla 18. Resultados del tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (3era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	3era. Réplica		
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	153,70	90,70	424,70
1:1,5	3	96,50	54,20	233,90
1:2	5	15,30	7,60	113,50

Fuente: elaboración propia.

La tabla 18 muestra los resultados de la tercera réplica experimental del tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 153,70 mg/L, 90,70 mg/L y 424,70 mg/L respectivamente, al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 15,30 mg/L, 7,60 mg/L y 113,50 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Para la DQO en la tercera réplica, reemplazando los datos obtenidos en la tabla 4 y 18 en la ecuación (1):

$$\% \text{reducción}_{DQO} = \frac{450,70 \frac{mg}{L} - 153,70 \frac{mg}{L}}{450,70 \frac{mg}{L}} = 64.49 \%$$

Tabla 19. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (3era réplica).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	3era. Réplica		
		DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
1:1	1	65,90	64,83	80,83
1:1,5	3	78,59	78,98	89,44
1:2	5	96,61	97,05	94,88

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 19 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 96,61 %, 97,05 % y 94,88 % respectivamente en la tercera réplica, empleando los HA mejorados con rizobacterias por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

De las tres réplicas experimentales realizadas, se calculó el promedio de los resultados experimentales.

Tabla 20. Resultados del tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (promedio).

Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	Promedio		
		DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
1:1	1	154,53	91,87	424,90
1:1,5	3	98,03	54,23	236,07
1:2	5	14,97	8,07	113,43

Fuente: elaboración propia.

La tabla 20 muestra los resultados promedios del tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias; se puede observar que una proporción de grava y arena de 1:1 y 1 día de contacto logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST a 154,53 mg/L, 91,87 mg/L y 424,90 mg/L respectivamente; al ir aumentando la proporción y el tiempo de contacto, se aprecia que las concentraciones de DQO, DBO₅ y SST se redujeron más, hasta lograr una mayor reducción en la concentración de DQO, DBO₅ y SST de 14,97 mg/L, 8,07 mg/L y 113,43 mg/L respectivamente, cuando se empleó una proporción de grava y arena de 1:2 y 5 días de contacto.

Tabla 21. Porcentaje de reducción en el tratamiento de ARD con el HA mejorado con rizobacterias (promedio).

Tratamiento	Proporción de Grava:Arena	Tiempo (días)	Promedio		
			DQO (%)	DBO ₅ (%)	SST (%)
T4	1:1	1	65,71	64,38	80,82
T5	1:1,5	3	78,25	78,97	89,34
T6	1:2	5	96,68	96,87	94,88

Fuente: elaboración propia.

De la tabla 21 podemos afirmar que se logró una mayor reducción en la DQO, DBO₅ y SST de 96,68 %, 96,87 % y 94,88 % respectivamente en promedio, empleando los HA mejorados con rizobacterias por 5 días y con la proporción de grava y arena de 1:2.

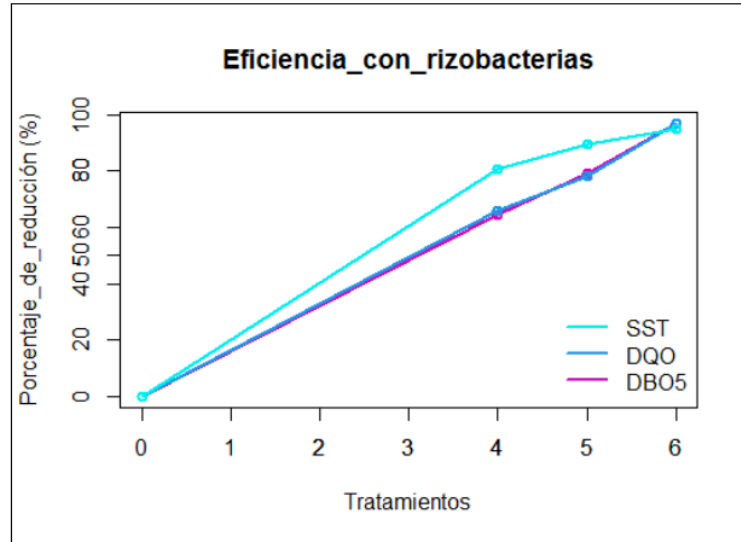


Figura 11. Eficiencia del tratamiento de AR con HA mejorados con rizobacterias.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 11 se puede apreciar que la proporción de grava y arena de 1:2 del HA mejorado con rizobacterias en contacto por 5 días con el agua residual doméstica (tratamiento 6) logró mejores porcentajes de reducción de DQO, DBO₅ y SST de las ARD. La mayor eficiencia de reducción fue para el parámetro DBO₅ con 96,87 % de reducción, seguido del parámetro DQO con 96,68 % y finalmente del parámetro SST con 94,88 %.

4.1.6. Proporción de grava y arena en el tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias

Se consideró 8 cm de grava para el HA mejorado con rizobacterias y se complementó con arena 8 cm, 12cm y 16 cm, teniendo las proporciones de 1:1, 1;1,5 y 1:2. Se realizó el efecto de proporción de grava y arena en el tratamiento de ARD con los resultados promedios obtenidos en las tablas 20 y 21.

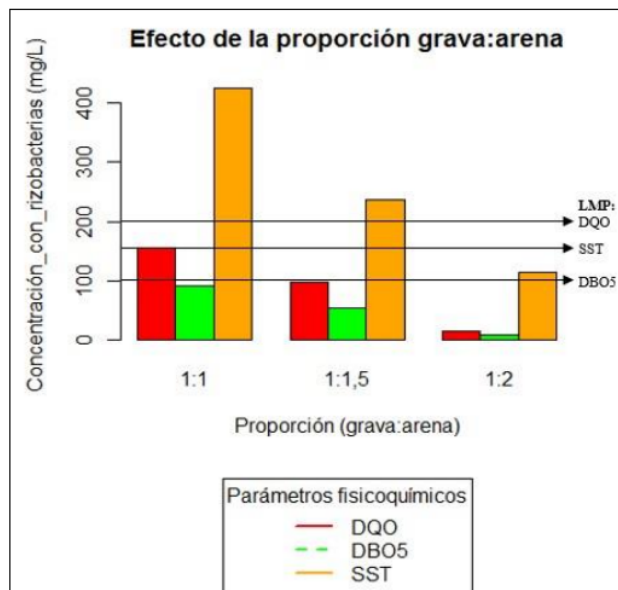


Figura 12. Efecto de la proporción grava:arena del HA mejorado con rizobacterias en el tratamiento de ARD.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 12 se puede apreciar que se logró menores concentraciones de DQO, DBO₅ y SST cuando se empleó una proporción de grava y arena mayor. Para los parámetros DQO, DBO₅ y SST se observa que el empleo del HA mejorado con rizobacterias con una proporción de grava y arena de 1:2, logró reducir la concentración por debajo de los LMP establecidos para la DQO, DBO y SST.

4.1.7. Efecto del tiempo de contacto en el tratamiento del ARD con el HA mejorado con rizobacterias

Se trabajó con 1 día, 3 días y 5 días de contacto entre el HA mejorado con rizobacterias y las ARD. Se realizó el efecto del tiempo de contacto en el tratamiento de ARD con los resultados promedios obtenidos en la tabla 20 y 21.

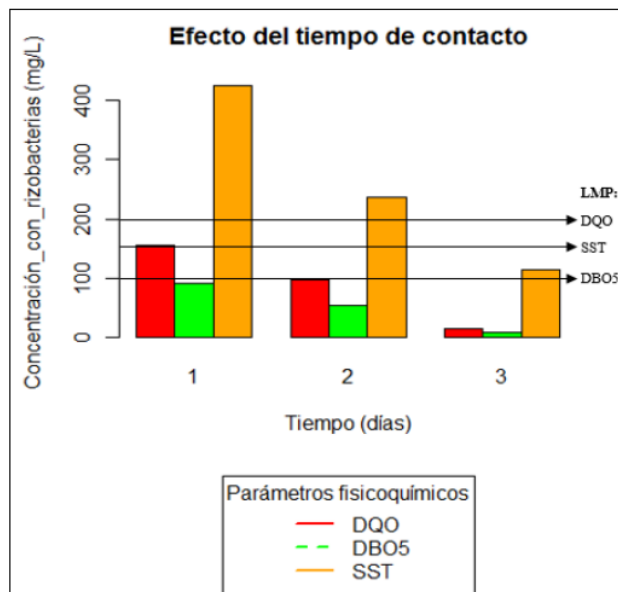


Figura 13. Efecto del tiempo de contacto en el tratamiento de ARD empleando el HA mejorado con rizobacterias.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 13 se puede apreciar que se logró menores concentraciones de DQO, DBO₅ y SST cuando hay mayor tiempo de contacto. Para los parámetros DQO, DBO₅ y SST se observa que el empleo del HA mejorado con rizobacterias en contacto por 5 días con el ARD, logró reducir la concentración por debajo de los LMP establecidos para la DQO, DBO y SST.

1 4.2. Pruebas de hipótesis

4.2.1. Prueba de hipótesis general

*H₀: Los HA con rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) no disminuyen materia orgánica de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.

*H_a: Los HA con rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) disminuyen materia orgánica de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo

Para realizar la prueba de hipótesis general, se desarrolló un análisis de varianza a los resultados experimentales de DQO y DBO₅ (T4, T5 y T6) en el tratamiento de AR con el HA mejorado con rizobacterias.

Tabla 22. Análisis de varianza de la DQO empleando el HA mejorado con rizobacterias.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000010	0,000005	0,73	0,538
Tratamiento con rizobacterias	2	0,145577	0,072789	10392,06	0,000
Error	4	0,000028	0,000007		
Total	8	0,145615			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. Análisis de varianza de la DBO₅ empleando el HA mejorado con rizobacterias.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000022	0,000011	0,21	0,817
Tratamiento con rizobacterias	2	0,158919	0,079459	1555,44	0,000
Error	4	0,000204	0,000051		
Total	8	0,159145			

Fuente: elaboración propia.

Las tablas 22 y 23 muestran el análisis de varianza de las eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO y DBO₅) de las AR empleando el HA mejorado con rizobacterias. De las tablas 22 y 23 se extrajo el valor de p, cuyo valor estadístico determinó la prueba de hipótesis general. Si el valor de p de los tratamientos con rizobacterias es menor a 0,05,

estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa (H_a), si por el contrario el valor de p de los tratamientos con rizobacterias es mayor a 0,05, por ende, se acepta la hipótesis nula (H_0).

El valor de p determinado estadísticamente fue 0,000 para la DQO y DBO_5 , por lo que estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa que afirma que los HA con rizobacterias de la *Typha domingensis* (totora) disminuyen materia orgánica de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.

4.2.2. Prueba de la primera hipótesis específica

* H_0 : El ARD presenta baja concentración de DQO, DBO_5 y SST.

* H_a : El ARD presenta alta concentración de DQO, DBO_5 y SST.

Para la contrastación de la primera hipótesis específica, se comparó la concentración de DQO, DBO_5 y SST inicial con los LMP establecidos por el MINAM.

Tabla 24. Comparación de los LMP para efluentes de ARD.

Parámetros fisicoquímicos	Concentración inicial en el agua residual (mg/L)	LMP (mg/L)
DQO	450,70	200
DBO_5	257,90	100
SST	2215,10	150

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 24 se puede apreciar que las concentraciones iniciales de DQO, DBO_5 y SST sobrepasan los LMP, por lo que, se acepta la primera hipótesis específica, que menciona que el agua residual doméstica presenta alta concentración de DQO, DBO_5 y SST.

4.2.3. Prueba de la segunda hipótesis específica

*H0: La proporción de altura de grava/arena en los HA no tiene un efecto significativo en la remoción de la materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica.

*Ha: La proporción de altura de grava/arena en los HA tiene un efecto significativo en la remoción de la materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica.

Para la contrastación de la segunda hipótesis específica, se realizó un análisis de varianza de la proporción grava:arena de los HA sin rizobacterias en el tratamiento de las ARD.

Tabla 25. Análisis de varianza de la proporción grava:arena en la eficiencia de remoción de DQO empleando el HA.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000014	0,000007	21,29	0,087
Proporción grava:arena	2	0,140473	0,070236	215805,65	0,000
Error	4	0,000001	0,000000		
Total	8	0,140488			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 26. Análisis de varianza de la proporción grava:arena en la eficiencia de remoción de DBO₅ empleando el HA.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000028	0,000014	0,56	0,612
Proporción grava:arena	2	0,114085	0,057042	2225,96	0,000
Error	4	0,000103	0,000026		
Total	8	0,114216			

Fuente: elaboración propia.

Tabla 27. Análisis de varianza de la proporción grava:arena en la eficiencia de remoción de SST empleando el HA.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000000	0,000000	0,18	0,842
Proporción grava:arena	2	0,046090	0,023045	18455,94	0,000
Error	4	0,000005	0,000001		
Total	8	0,046095			

Fuente: elaboración propia.

Las tablas 25, 26 y 27 muestran el análisis de varianza de las eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO, DBO₅ y SST) de las aguas residuales empleando el humedal artificial variando la proporción de grava:arena. De las tablas 25, 26 y 27 se extrajo el valor de p, cuyo valor estadístico determinó la prueba de la segunda hipótesis específica. Si el valor de p de la proporción grava:arena es menor a 0,05, estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa (H_a), si por el contrario el valor de p de la proporción grava:arena es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula (H₀).

El valor de p determinado estadísticamente fue 0,000 para la DQO, DBO₅ y SST, por lo que estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa que afirma que la proporción de altura de grava/arena en los HA tiene un efecto significativo en la remoción de la materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica.

4.2.4. Prueba de la tercera hipótesis específica

*H₀: El tiempo de contacto no afecta significativamente en los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.

*H_a: El tiempo de contacto afecta significativamente en los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.

Tabla 28. Análisis de varianza del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de DQO empleando el HA.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
--------	----	-----------	-----------	---------	---------

Réplicas	2	0,000014	0,000007	21,29	0,087
Tiempo de contacto	2	0,140473	0,070236	215805,65	0,000
Error	4	0,000001	0,000000		
Total	8	0,140488			

1 Fuente: elaboración propia.

Tabla 29. Análisis de varianza del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de DBO₅ empleando el HA.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000028	0,000014	0,56	0,612
Tiempo de contacto	2	0,114085	0,057042	2225,96	0,000
Error	4	0,000103	0,000026		
Total	8	0,114216			

1 Fuente: elaboración propia.

Tabla 30. Análisis de varianza del tiempo de contacto en la eficiencia de remoción de SST empleando el HA.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000000	0,000000	0,18	0,842
Tiempo de contacto	2	0,046090	0,023045	18455,94	0,000
Error	4	0,000005	0,000001		
Total	8	0,046095			

2 Fuente: elaboración propia.

1 Las tablas 28, 29 y 30 muestran el análisis de varianza de las eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO, DBO₅ y SST) de las aguas residuales a diferentes tiempos de contacto con el humedal artificial. De las tablas 28, 29 y 30 se extrajo el valor de p, cuyo valor estadístico determinó la prueba de la tercera hipótesis específica. Si el valor de p del tiempo de contacto es menor a 0,05, estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa (H_a), si por el contrario el valor de p del tiempo de contacto es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula (H₀).

El valor de p determinado estadísticamente fue 0,000 para la DQO, DBO₅ y SST, por lo que estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa que afirma que el tiempo de contacto afecta significativamente en los HA para la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica.

4.2.5. Prueba de la cuarta hipótesis específica

*H₀: La adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los HA no disminuye significativamente la materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica.

*H_a: La adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los HA disminuye significativamente la materia orgánica y sólidos suspendidos del agua residual doméstica.

Tabla 31. Análisis de varianza de los SST empleando el HA mejorado con rizobacterias.

Fuente	gl	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Réplicas	2	0,000001	0,000000	0,28	0,767
Tratamiento con rizobacterias	2	0,030104	0,015052	10334,08	0,000
Error	4	0,000006	0,000001		
Total	8	0,030110			

Fuente: elaboración propia.

Las tablas 22, 23 y 31 muestran el análisis de varianza de las eficiencias de remoción de materia orgánica (DQO, DBO₅ y SST) de las aguas residuales empleando el humedal artificial mejorado con rizobacterias. De las tablas 22, 23 y 31 se extrajo el valor de p, cuyo valor estadístico determinó la prueba de la cuarta hipótesis específica. Si el valor de p de los tratamientos con rizobacterias es menor a 0,05, estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa (H_a), si por el contrario el valor de p de los

tratamientos con rizobacterias ¹² es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula (H_0).

El valor de p determinado estadísticamente fue 0,000 para la DQO, DBO₅ y SST, por lo que estadísticamente se acepta la hipótesis alternativa que afirma que la adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los HA disminuye significativamente la materia orgánica y sólidos suspendidos del ARD.

² 4.3. Discusión de resultados

Los resultados demostraron que el sistema de HA sin rizobacterias pudo reducir eficientemente DQO (77,27 %), DBO (76,93 %) y SST (85,83 %) y los HA con rizobacterias lograron reducir eficiente DQO (96,68 %), DBO (96,87 %) y SST (94,88 %). Las eficiencias obtenidas también fueron logradas por el estudio de Al-sawi *et al.* (37), quienes emplearon HA maduros de flujo vertical para el tratamiento de AR alcanzado una eficiencia de remoción de DQO (58,6 - 70,8 %), DBO (74,9 % - 81,3 %) y SST (91,3 % - 92,4 %).

La remoción relativamente alta de DQO y DBO por parte de los HA maduros se logró mediante procesos físicos y microbianos. El estudio de Almuktar *et al.* (1) sobre los sistemas de humedales, mostró que el espacio vacío entre los medios de humedales se redujo con el tiempo. El espacio vacío se estimó periódicamente midiendo cuánta agua pudo albergar el humedal hasta alcanzar un determinado nivel. Incluso los sólidos finos quedan atrapados durante la filtración durante un tiempo bastante largo, lo que permite que la hidrólisis de los sólidos orgánicos y la subsiguiente biodegradación se produzcan rápidamente (38).

Los diferentes resultados sobre la eficiencia de reducción de DQO, DBO₅ y SST se dio cuando se trabajó a diferentes proporciones de grava y arena como sustrato, y diferentes tiempos de contacto; los resultados indicaron que una mayor proporción entre grava y arena del sustrato del humedal artificial con y sin rizobacterias, y un mayor tiempo de contacto, logra mejores eficiencias de reducción de materia orgánica y SST. El estudio de Wu *et al.* (2) afirma que diferentes sustratos influyen en el establecimiento de biopelículas microbianas y la estructura de la comunidad microbiana dentro de ecosistemas de humedales artificiales, así como en el rendimiento del tratamiento. Una matriz porosa, como la arena, proporciona una

mayor superficie para el contacto con el tratamiento y el desarrollo de biopelículas microbianas.

Calheiros *et al.* (39) investigaron las comunidades bacterianas en los HA con diferentes materiales de suelo, es decir, dos tipos de agregados de arcilla expandida (Filtralite MR3-8-FMR y Filtralite NR3-8-FNR) y grava fina. Se lograron mayores remociones de contaminantes en términos de DQO y DBO₅ en las unidades plantadas de arcilla expandida después de una operación a largo plazo (31 meses), mostrando el mismo comportamiento que en la presente investigación, a mayor tiempo de contacto y una proporción mayor entre grava y arena logró mejores eficiencias de reducción de DQO y DBO₅. El comportamiento similar de los sistemas de arcilla expandida con respecto a la remoción de contaminantes puede atribuirse al hecho de que pueden tener grupos funcionales similares de microorganismos.

En el estudio de Li *et al.* (40) se demostró que los sustratos híbridos (grava, zeolita y escoria) eran adecuados para la supervivencia bacteriana y proporcionaban hábitats protectores y favorables para los microorganismos a través de la exclusión de depredadores por el tamaño de los poros.

5 CONCLUSIONES

- Se determinó que la mayor eficiencia de reducción de concentración de DQO, DBO₅ y SST fue 77,27 %, 76,93 % y 85,83 % respectivamente, empleando HA sin rizobacterias, y 96,68 %, 96,87 % y 94,88 % respectivamente, empleando HA con rizobacterias de la *Typha domingensis* (totorá) en el tratamiento de ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.
- Se determinó una concentración inicial de 450,70 mg/L, 257,90 mg/L y 2215,10 mg/L de DQO, DBO₅ y SST respectivamente de las ARD del Vertimiento N° 8 - Parra del Riego - El Tambo - Huancayo.
- Se evaluó la influencia de la proporción de grava y arena del HA sin rizobacterias, concluyendo que a mayor proporción de grava y arena se obtienen mejores resultados en la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos totales, ya que se logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST hasta 102,43 mg/L, 59,50 mg/L y 313,93 mg/L respectivamente con una proporción de grava y arena de 1:2.
- Se evaluó la influencia del tiempo de contacto del HA sin rizobacterias en las ARD, concluyendo que a mayor tiempo de contacto se obtienen mejores resultados en la disminución de materia orgánica y sólidos suspendidos totales, ya que se logró reducir la concentración de DQO, DBO₅ y SST hasta 102,43 mg/L, 59,50 mg/L y 313,93 mg/L respectivamente con un tiempo de contacto de 5 días.
- Se evaluó la influencia de la adición de rizobacterias de la *Typha domingensis* a los HA, obteniendo como concentración final 14,97 mg/L, 8,07 mg/L y 113,43 mg/L de DQO, DBO₅ y SST respectivamente, logrando disminuir la materia orgánica y los sólidos suspendidos a los Límites Máximos Permisibles establecidos por el Ministerio del Ambiente en el D.S. N° 003-2010-MINAM para efluentes de ARD.

RECOMENDACIONES

- Estudiar la remoción de metales pesados de soluciones acuosas empleando humedales artificiales con y sin rizobacterias.
- Estudiar la remoción de fosfatos y nitratos de AR eutróficas empleando HA con y sin rizobacterias.
- Estudiar los HA como hábitat alternativo para una amplia gama de especies.
- Estudiar los HA para mejorar la calidad del agua de ríos y lagunas contaminadas.
- Estudiar otros tipos de sustrato y su eficiencia en la remoción de materia orgánica de AR.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AL-ISAWI, R., y otros. Vertical-flow constructed wetlands treating domestic wastewater contaminated by hydrocarbons. *Water Science & Technology*, 2015, 71(6), 938-946 pp.
- (2) WU, S., y otros. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: A nitrogen and organic matter targeted review. *Water Research*, 2014, 57, 40-55 pp. ISSN: 0043-1354.
- (3) KORBOULEWSKY, N., WANG, R. y BALDY, V. Purification processes involved in sludge treatment by a vertical flow wetland system: Focus on the role of the substrate and plants on N and P removal. *Bioresource Technology*, 2012, 105, 9-14 pp. ISSN: 0960-8524.
- (4) SCHOLZ, M. *Wetland Systems*. United Kingdom: Springer, 2011. ISBN: 978-1-84996-459-3.
- (5) PAING, J., y otros. Effect of climate, wastewater composition, loading rates, system age and design on performances of French vertical flow constructed wetlands: A survey based on 169 full scale systems. *Ecological Engineering*, 2015, 80, 46-52 pp. ISSN: 0925-8574.
- (6) STEFANAKIS, A., AKRATOS, C. y TSIHRINTZIS, V. *Vertical Flow Constructed Wetlands*. Grecia: Elsevier Science, 2014. ISBN: 978-0-12-404612-2.
- (7) AL-AJALIN, F., y otros. Effect of wastewater depth to the performance of short-term batching-experiments horizontal flow constructed wetland system in treating domestic wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 2020, 20.
- (8) VOCCIANTE, M., y otros. The role of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in mitigating plant's environmental stresses. *Applied Sciences*, 2022, 12(3). ISSN: 2076-3417.
- (9) CHUNG, A., y otros. Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater. *Ecological Engineering*, 2008, 32(1), 81-89 pp. ISSN: 0925-8574.
- (10) YOUNAS, F., y otros. Constructed wetlands as a sustainable technology for wastewater treatment with emphasis on chromium-rich tannery wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 422. ISSN: 1873-3336.

- (11) AL-BALDAWI, I. Removal of 1,2-Dichloroethane from real industrial wastewater using a sub-surface batch system with *Typha angustifolia* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018, 147, 260-265 pp. ISSN: 1090-2414.
- (12) DE SOUZA, M., y otros. Rhizosphere bacteria enhance the accumulation of selenium and mercury in wetland plants. *Planta*, 1999, 209(2), 259-263 pp. ISSN: 0032-0935.
- (13) SALGADO, I., y otros. Domestic wastewater treatment by constructed wetlands enhanced with bioremediating rhizobacteria. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, 25(21), 20391-20398 pp. ISSN: 1614-7499.
- (14) SAHA, A., y otros. A review on phyto-remediation by aquatic macrophytes: A natural promising tool for sustainable management of ecosystem. *International Journal of Experimental Research and Review*, 2022, 27, 9-31 pp.
- (15) KATAKI, S., y otros. Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate). *Journal of Environmental Management*, 2021, 283. ISSN: 1095-8630.
- (16) MORALES, G. *Tendencias en la investigacion en Ingenieria Ambiental*. Colombia: Sello Ed, 2008. ISBN: 9789588348339.
- (17) RAMÍREZ-CARRILLO, H., LUNA-PABELLO, V. y ARREDONDO-FIGUEROA, J. Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 2009, 8(1). ISSN: 1665-2738.
- (18) RAMÍREZ, D. Remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo de agua residual municipal implementando un tren de tratamiento de fitodepuración y O₃/UV. Tesis de Maestría (Ciencias en Ingeniería Ambiental). México: Instituto Tecnológico de Toluca, 2019.
- (19) QUEZADA, A. Remoción de contaminantes nitrogenados de las aguas residuales de café por diferentes sistemas de humedales artificiales. Tesis de Maestría (Ciencias Tecnológicas). México: ECOSUR, 2016.
- (20) MINCHOLA, J. y GONZÁLES, F. Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick. *Amaltoa*, 2013, 20(2), 433-444 pp. ISSN: 1815-8242.
- (21) NUÑEZ, R. Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus papyrus* (*Papiro*). Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Peruana Unión, 2016.

- (22) PÉREZ, Y., GARCÍA, D. y JAUREGUI, U. Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 2022, 31(1), 1-9 pp.
- (23) ESPITIA, J. Aplicación de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en pequeños centros poblados. Informe Monográfico (Título de Ingeniero Ambiental). Colombia: Universidad de Córdoba, 2022.
- (24) LLAGAS, W. y GUADALUPE, E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 2006, 9(17), 85-96 pp. ISSN: 1682-3087.
- (25) MOLINA-ROMERO, D., y otros. Mecanismos de fitoestimulación por rizobacterias, aislamientos en América y potencial biotecnológico. *Biológicas*, 2015, 17(2), 24-34 pp.
- (26) SCHWEITZER, L. y NOBLET, J. *Water Contamination and Pollution*. Green Chemistry, 2018.
- (27) ATALAYA, K. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en los parámetros DBO, DQO, SST, PH, T°, aceites y grasas, en Sorochuco, Celendín, Cajamarca. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2022.
- (28) KURISSERY, S., SHAW, L. y KANAVILLIL, N. A historic perspective of endophytes in vascular plants and their role in environmental sustainability. *Intellectual, Scientific, and Educational Influences on Sustainability Research*, 2019, 14-45 pp.
- (29) HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
- (30) MELO, O., LÓPEZ, L. y MELO, S. *Diseño de experimentos : métodos y aplicaciones*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2020.
- (31) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. *Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos*. Lima: ANA, 2011.
- (32) HERNÁNDEZ, A., y otros. *Obtención de aislados bacterianos de la rizósfera de Typha latifolia (Espadaña) crecida en sitios contaminados con plomo*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2014.
- (33) VENEGAS, J. Determinación de los parámetros de un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para la optimización del diseño de modelos de caja negra bajo condiciones tropicales. *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 2020, 21(1), 1-9 pp. ISSN: 1110-7243.

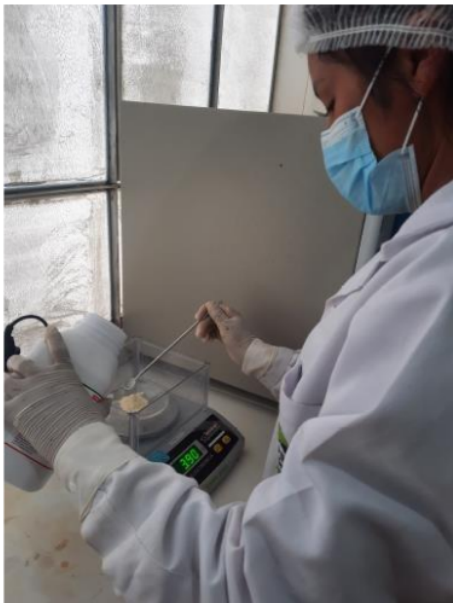
- (34) BUSTAMANTE, M., y otros. Nitrogen and potassium variation on contaminant removal for a vertical subsurface flow lab scale constructed wetland. *Bioresource Technology*, 2011, 102(17), 7745-7754 pp. ISSN: 0960-8524.
- (35) SALEEM, H., y otros. Enhanced degradation of phenol in floating treatment wetlands by plant-bacterial synergism. *International Journal of Phytoremediation*, 2018, 20(7), 692-698 pp. ISSN: 1549-7879.
- (36) MINISTERIO DEL AMBIENTE. D.S. N° 003-2010-MINAM. *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)*. Lima: El Peruano, 2010.
- (37) AL-ISAWI, R., RAY, S. y SCHOLZ, M. Comparative study of domestic wastewater treatment by mature vertical-flow constructed wetlands and artificial ponds. *Ecological Engineering*, 2017, 100, 8-18 pp. ISSN: 0925-8574.
- (38) ALMUKTAR, S., y otros. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigating Chillies and Sweet Peppers. *Agricultural Water Management*, 2015, 149, 1-22 pp. ISSN: 0378-3774.
- (39) CALHEIROS, C., y otros. Substrate effect on bacterial communities from constructed wetlands planted with *Typha latifolia* treating industrial wastewater. *Ecological Engineering*, 2009, 35(5), 744-753 pp.
- (40) LI, J., y otros. Influence of vegetation and substrate on the removal and transformation of dissolved organic matter in horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Bioresource Technology*, 2008, 99(11), 4990-4996 pp.

ANEXOS

Anexo 1. Evidencias fotográficas.







Anexo 2. Reportes de ensayo.



INFORME DE ENSAYO N° 1-0002/23

Pág. 1/1

Solicitante : Morelia Nera Paitan Zavala
 Elizabeth Norma Inga Armas
 Jackalyne Judith Laurente Segovia

Domicilio legal : Paradero 7 - Pílocomayo - Lima
 Jr. Belén S/N - Chupaca
 Jr. Grau N°116 - Chilca

Proyecto : "Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales mejorados con rizobacterias del vertimiento N°8 Juan Parra del Riego - El Tambo - Huancayo"

Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica tratada

Procedencia de la Muestra :

Lugar de Muestreo :

Cantidad de muestras para el Ensayo : 06 muestras x 250 mL

Forma de Presentación : 06 Frascos de Plástico

Fecha de Recepción : 30/12/22

Fecha de Inicio del Ensayo : 30/12/22

Fecha de Término del Ensayo : 04/01/23

Fecha de Emisión de Informe : 05/01/23

N° de Cotización de Servicio :



Codigo del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
MEJ111R1	154.30	93.40	423.20
MEJ122R1	98.50	52.10	239.50
MEJ133R1	15.80	9.20	111.40
MEJ211R1	235.60	129.40	698.40
MEJ222R1	141.50	75.30	489.10
MEJ233R1	101.80	60.70	312.60

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.
 Demanda Biológica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test, Solids Suspended Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540, 23rd Ed.2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 05 de Enero de 2023

GRUPO JHACC S.A.C.
 Ing. Henry R. Ochoa León
 C.E. N° 104232
 JEFE DE LABORATORIO

"El informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe."
 "Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANALISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC."
 "Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce."

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
 Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
 www.grupojhacc.com

INFORME DE ENSAYO N° 1-0004/23

Pág. 1/1

Solicitante : Morelia Nena Paitan Zavala
Elizabeth Norma Inga Armas
Jackelyne Judith Laurente Segovia

Domicilio legal : Paradero 7 - Pilcomayo - Lima
Jr. Belén S/N - Chupaca
Jr. Grau N°116 - Chilca

Proyecto : Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales artificiales mejorados con rizobacterias del vertimiento N°8 Juan Parra del Riego - El Tambo - Huancayo*

Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual domestica tratada

Procedencia de la Muestra : ---

Lugar de Muestreo : ---

Cantidad de muestras para el Ensayo : 06 muestras x 250 ml.

Forma de Presentación : 06 Frascos de Plástico

Fecha de Recepción : 06/01/23

Fecha de Inicio del Ensayo : 06/01/23

Fecha de Término del Ensayo : 11/01/23

Fecha de Emisión de Informe : 12/01/23

N° de Cotización de Servicio : ---



Codigo del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
MEJ111R2	155.60	91.50	426.80
MEJ122R2	99.10	56.40	234.80
MEJ133R2	13.80	7.40	115.40
MEJ211R2	237.40	127.40	702.60
MEJ222R2	142.50	76.50	485.20
MEJ233R2	103.10	58.40	315.40

- Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente
- El cliente renuncia al derecho de la dirimencia

Método de Análisis:

Demanda Química de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H₂O, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test, Solids Suspended Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540D, 23rd Ed.2017, Total Suspended Solids Dites at 103-105°C.

Huancayo, 12 de Enero de 2023

GRUPO JHACC S.A.C.
Ing. Henry R. Ochoa León
CIP N° 124227
JEFE DE LABORATORIO

*El Informe de ensayo sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC.

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

INFORME DE ENSAYO N° 1-0007/23

Pág. 1/1

Solicitante : Morelia Nena Paitan Zavala
Elizabeth Norma Inga Armas
Jackelyne Judith Laurente Segovia

Domicilio legal : Paradero 7 - Pilcomayo - Lima
Jr. Belén S/N - Chupaca
Jr. Grau N°116 - Chilca

Proyecto : Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales mejorados con rizobacterias del vertimiento N°8 Juan Parra del Riego - El Tambo - Huancayo

Muestra(s) Declarada(s) : Agua residual doméstica tratada

Procedencia de la Muestra : []

Lugar de Muestreo : []

Cantidad de muestras para el Ensayo : 06 muestras x 250 mL

Forma de Presentación : 06 Frascos de Plástico

Fecha de Recepción : 13/01/23

Fecha de Inicio del Ensayo : 13/01/23

Fecha de Término del Ensayo : 18/01/23

Fecha de Emisión de Informe : 19/01/23

N° de Cotización de Servicio : []



Código del cliente	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	SST (mg/L)
MEJ111R3	153.70	90.70	424.70
MEJ122R3	96.50	54.20	233.90
MEJ133R3	15.30	7.60	113.50
MEJ211R3	236.90	126.40	703.40
MEJ222R3	141.90	76.90	486.10
MEJ233R3	102.40	59.40	313.80

* Lugar y condiciones ambientales del muestreo: Indicado por el cliente.
* El cliente renuncia al derecho de la dimensión.

Método de Análisis:
Demanda Química de oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, D, 23rd Ed.2017, Closed Reflux, Colorimetric Method.
Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed.2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD) 5- Day BOD Test.
Sólidos Suspensivos Totales: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540D, 23rd Ed.2017, Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.

Huancayo, 19 de Enero de 2023

GRUPO JHACC S.A.C.
Ing. Henry R. Ochoa León
DNI: 73462222
JEFE DE LABORATORIO

*El informe de ensayo solo es valido para las muestras referidas en el presente informe.
*Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin la autorización escrita del LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTALES GRUPO JHACC.
*Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de la calidad de la entidad que lo produce.

LAA-GJ

Rev: 01

Jr. Santa Rosa N° 1361 - El Tambo, Huancayo - Perú Celular: 971 718825 - 954 416149 - 956 988682
Correo: proyectos@grupojhacc.com / administracion@grupojhacc.com
www.grupojhacc.com

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES MEJORADOS CON RIZOBACTERIAS DEL VERTIMIENTO N° 8 - PARRA DEL RIEGO - EL TAMBO - HUANCAYO

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	5%
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uti.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	rinacional.tecnm.mx Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
10	ambiental.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
11	www.alipso.com Fuente de Internet	<1 %
12	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
13	repobib.ubiobio.cl Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.utp.edu.co Fuente de Internet	<1 %
16	bvearmb.do Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
19	hupanam.com Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

21	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
25	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
26	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
27	www.latierrasinmal.com.ar Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
31	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
32	www.empas.gov.co Fuente de Internet	<1 %

<1 %

33

documents.mx

Fuente de Internet

<1 %

34

revistas.ugca.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

35

saberesyciencias.com.mx

Fuente de Internet

<1 %

36

www.genomica.es

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo