

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS  
CON LAS ESPECIES COLOCASIA ESCULENTA “PITUCA”  
Y PHRAGMITES AUSTRALIS “CARRIZO” EN EL CENTRO  
POBLADO HUAYÁN-HUARAL**

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

**LUIS JOSE CARLOS MEDINA FELIX**

**HUACHO – PERÚ**

**2022**

# 3 REVISION MEDINA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unjfsc.edu.pe">repositorio.unjfsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://repositorio.ucv.edu.pe">repositorio.ucv.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrion Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
9	<a href="http://www.doccity.com">www.doccity.com</a> Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS  
CON LAS ESPECIES COLOCASIA ESCULENTA “PITUCA”  
Y PHRAGMITES AUSTRALIS “CARRIZO” EN EL CENTRO  
POBLADO HUAYÁN-HUARAL**

**Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador**



---

**Dr. Marco Tulio Sánchez Calle**

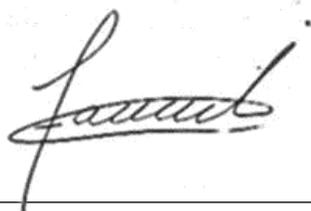
**Presidente**



---

**Ing. Hellen Yahaira Huertas Pomassoncco**

**Secretario**



---

**Mg. Tania Ivette Méndez Izquierdo**

**Vocal**



---

**Dr. José Luis Romero Bozzetta**

**Asesor**

**HUACHO – PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres, Jane y Luis, que en todas las etapas de mi vida estuvieron presentes con su apoyo incondicional y por quienes me esfuerzo cada día para ser el mejor. A Jaime y Juan, mis hermanos, que también son mis mejores amigos y a quienes deseo que luchan por cumplir sus sueños. A mis adorados abuelos Juliana, Nativo, Lucila y Víctor, que son mis 4 ángeles que guían mi camino desde el cielo.

## **AGRADECIMIENTO**

- ❖ En primer lugar, a mi prestigiosa alma mater, la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, donde vivencíé una de las etapas más importantes y extraordinarias de mi vida.
- ❖ A mi estimada familia, a quienes agradezco mucho su apoyo y motivación desde que tengo memoria.
- ❖ A mis queridos padrinos, Lidia y Jorge, que Dios Padre puso en mi camino para orientarme por el camino correcto y a los cuales siempre querré como a mis padres.
- ❖ Al Dr. José Luis Romero Bozzetta, por sus excelentes consejos y apoyo como asesor del presente trabajo de investigación.
- ❖ A mis estimados compañeros de la promoción 2021 “Líderes del Bicentenario”, con quienes pude comprender que existen personas que, a pesar de tener diferentes pensamientos, puedes esperar de ellos un apoyo en los buenos y malos momentos.

## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	11
1.2. Formulación del problema .....	13
1.2.1. Problema general.....	13
1.2.2. Problemas específicos .....	13
1.3. Objetivos de la investigación.....	13
1.3.1. Objetivo general .....	13
1.3.2. Objetivos específicos .....	13
1.4. Justificación de la investigación .....	14
1.5. Delimitación del estudio .....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	16
2.1. Antecedentes de la investigación.....	16
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	16
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	18
2.2. Bases teóricas.....	22
2.3. Definición de términos básicos.....	31
2.4. Hipótesis de investigación .....	32
2.4.1. Hipótesis general .....	32
2.4.2. Hipótesis específicas .....	32
2.5. Operacionalización de las variables.....	33
CAPITULO III. METODOLOGÍA .....	35

3.1. Gestión del experimento .....	35
3.1.1. Ubicación .....	35
3.1.2. Características del área experimental .....	36
3.1.3. Tratamientos .....	36
3.1.4 Diseño experimental .....	37
3.1.5. Variables a evaluar.....	38
3.1.6. Conducción del experimento .....	39
3.2. Técnicas para el procesamiento de la información.....	44
CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....	45
4.1. Análisis de resultados .....	45
4.2. Contrastación de hipótesis .....	55
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....	72
5.1. Discusión de resultados .....	72
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	74
6.1. Conclusiones.....	74
6.2. Recomendaciones .....	75
CAPÍTULO VII. REFERENCIAS .....	77
ANEXOS .....	84
Anexo N°1. Matriz de consistencia .....	85
Anexo N°2. Fotografías .....	86
Anexo N°3. Normativa ambiental – ECA de agua. ....	88
Anexo N°4. Datos de los análisis de laboratorio .....	89
Anexo N°5. Registros de datos en campo .....	90
Anexo N°6. Cadenas de custodia de toma de muestras.....	93
Anexo N°7. Informes reportados de los ensayos del laboratorio .....	96

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Límites máximos permisibles para efluente de PTAR .....	26
Tabla 2	Mecanismos que encontramos en la fitorremediación .....	28
Tabla 3	<i>Operacionalización de variables del experimento</i> .....	33
Tabla 4	Tratamientos y control del experimento.....	37
Tabla 5	Descripción de los tratamientos del experimento.....	37
Tabla 6	Se muestran las Variables de la investigación.....	38
Tabla 7	Caracterización del efluente residual doméstica del CC.PP. Huayán .....	45
Tabla 8	Porcentajes de la eliminación de los tratamientos T1 y T2 .....	49
Tabla 9	Factores y variables de respuesta del experimento.....	55
Tabla 10	Análisis de Varianza de los datos del parámetro de pH .....	60
Tabla 11	Cálculo de medias de los tratamientos - pH .....	61
Tabla 12	Agrupación de información con el método de Dunnett - pH .....	61
Tabla 13	Análisis de Varianza de los datos del parámetro de TSS .....	62
Tabla 14	Cálculo de medias de los tratamientos – parámetro TSS .....	63
Tabla 15	Agrupación de información con el método de Dunnett – TSS.....	63
Tabla 16	Estadística descriptiva - prueba de Mann-Whitney de los datos de temperatura.65	
Tabla 17	Resultado de la prueba de Mann-Whitney para los valores de temperatura. ....	65
Tabla 18	Agrupación de información con el método de Dunnett – temperatura (T°).....	66
Tabla 19	Estadística descriptiva - prueba de Mann-Whitney de los datos de CTE.....	67
Tabla 20	Resultado de la prueba de Mann-Whitney para los datos de CTE.....	68
Tabla 21	Agrupación de información con el método de Dunnett – CTE.....	68

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de los mecanismos de fitorremediación. ....	27
Figura 2. Colocasia esculenta “pituca”.....	29
Figura 3. Phragmites australis “carrizo”.....	30
Figura 4. Mapa de ubicación del CC.PP. Huayán – Huaral. ....	35
Figura 5. Esquema de diseño de campo de la investigación. ....	36
Figura 6. Diagrama de la conducción del experimento.....	39
Figura 7. Recolección de especies fitorremediadoras. ....	40
Figura 8. Recolección de muestra de agua residual doméstica. ....	41
Figura 9. Siembra de especies en los recipientes del tratamiento. ....	42
Figura 10. Recipientes de tratamiento de agua residuales domésticas.....	42
Figura 11. Toma de muestras de agua post fitorremediación.....	43
Figura 12. Diagrama de las pruebas estadísticas del proyecto. ....	44
Figura 13. Variación del pH con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días. ....	50
Figura 14. Variación de la temperatura con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días. ..	51
Figura 15. Variación de TSS con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.....	52
Figura 16. Variación de la DBO con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.....	53
Figura 17. Variación de CTE con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.....	54
Figura 18. Gráfica de probabilidad de los datos del pH+ con Minitab. ....	56
Figura 19. Gráfica de probabilidad de los niveles de la temperatura con Minitab.....	57
Figura 20. Gráfica de probabilidad de los datos del TSS con Minitab.....	58
Figura 21. Gráfica de probabilidad de los datos de CTE con Minitab. ....	59
Figura 22. ICs simultáneos de Dunnett para pH.....	61
Figura 23. ICs simultáneos de Dunnett para TSS.....	63
Figura 24. ICs simultáneos de Dunnett para temperatura. ....	66
Figura 25. ICs simultáneos de Dunnett para CTE. ....	69
Figura 26. Punto de vertimiento del agua residual del CC.PP. Huayán.....	86
Figura 27. Viviendas del CC.PP. Huayán-Huaral .....	86
Figura 28. Calibración automática del tester de pH y Temperatura.....	87
Figura 29. Muestras de agua residual enviadas al laboratorio.....	87

## RESUMEN

**Objetivo:** La presente investigación busca cotejar la eficacia de la *Colocasia esculenta* y *Phragmites australis* en la eliminación de contaminantes contenidas en efluentes domésticos del centro poblado Huayán. **Metodología:** Se realizó con el diseño de bloques completamente al azar (DBCA), para los 02 tratamientos (T<sub>1</sub>: *Colocasia esculenta* y T<sub>2</sub>: *Phragmites australis*) y 3 repeticiones. Se estudiaron las muestras de efluentes domésticos de los días 0, 7 y 14 del tratamiento. Los porcentajes de remoción de contaminantes de efluentes fueron calculados mediante fórmulas matemáticas. Para el procesamiento y análisis de resultados se aplicó la prueba de ANOVA y Dunnett para valores paramétricos y la prueba de Mann-Whitney y Dunnett para los valores no paramétricos ( $\alpha = 0,05$ ), para comprobar si los tratamientos (T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>) son estadísticamente diferentes que el control experimental (Estación AR-EFL). **Resultados:** La especie *Colocasia esculenta* (T<sub>1</sub>) logró porcentajes de remoción del 86,21% y 82,76% del parámetro TSS en los días 7 y 14 respectivamente; también, logró remover el 99,05% de Coliformes termotolerantes en 7 días y 99,57% al día 14. Con la especie *Phragmites australis* (T<sub>2</sub>) el porcentaje de remoción de TSS al día 7 fue de 80,34% y al día 14 de 83,79%; mientras que la remoción del parámetro CTE al día 7 fue del 96,86% y al día 14 el 99,41%. **Conclusiones:** Las 2 especies son eficientes para reducir la concentración de contaminantes de efluentes domésticos, no obstante, la especie *Colocasia esculenta* (T<sub>1</sub>) tuvo mayor eficiencia de remoción, principalmente al día 14 de tratamiento. Ambos tratamientos lograron que los parámetros estén por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de plantas de tratamiento de efluentes residuales domésticas y Municipales y de los Estándares de la Calidad Ambiental (ECA) para este tipo de agua - Categoría 3: Uso de agua para riego.

**Palabras clave:** Parámetros, agua residual, tratamiento, remoción, eficiencia.

## ABSTRACT

**Objective:** This research seeks to compare the effectiveness of *Colocasia esculenta* and *Phragmites australis* in the elimination of contaminants contained in domestic effluents of the Huayán populated center. **Methodology:** Completely randomized block design (DBCA) was carried out for 02 treatments (T1: *Colocasia esculenta* and T2: *Phragmites australis*) and 3 repetitions. Domestic effluent samples from days 0, 7 and 14 of treatment were studied. The removal percentages of contaminants from effluents were calculated using mathematical formulas. For the processing and analysis of results, the ANOVA and Dunnett test for parametric values and the Mann-Whitney and Dunnett test for non-parametric values ( $\alpha = 0.05$ ) were applied, to check whether the treatments (T1 and T2) are statistically different than the experimental control (AR-EFL Station). **Results:** The species *Colocasia esculenta* (T1) achieved removal percentages of 86.21% and 82.76% of the TSS parameter on days 7 and 14, respectively; also, it managed to remove 99.05% of thermotolerant coliforms in 7 days and 99.57% on day 14. With the species *Phragmites australis* (T2) the percentage of removal of TSS on day 7 was 80.34% and on day 14 of 83.79%; while the removal of the CTE parameter at day 7 was 96.86% and at day 14 99.41%. **Conclusions:** The 2 species are efficient to reduce the concentration of pollutants in domestic effluents, however, the species *Colocasia esculenta* (T1) had higher removal efficiency, mainly on day 14 of treatment. Both treatments achieved that the parameters are below the Maximum Permissible Limits (LMP) for effluents from domestic and municipal wastewater treatment plants and the Environmental Quality Standards (ECA) for this type of water - Category 3: Use of water for irrigation.

**Keywords:** Parameters, wastewater, treatment, removal, efficiency.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la realidad problemática

El riesgo por la contaminación del ambiente es un problema mundial en la actualidad por los impactos negativos generados a diversas magnitudes; principalmente, la contaminación del agua es uno de los más alarmantes, visto que gran proporción del planeta Tierra está conformado por este elemento.

En los últimos años se aprecia que una de las formas de contaminación de este recurso natural es mediante el vertimiento de efluentes domésticos e industriales que son generadas por actividades del hombre, que a través la introducción de materias contaminantes modifican las características fisicoquímicas y biológicas del agua (Guadarrama *et al.*, 2016).

El apartado chileno de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2017) menciona que en los domicilios se generan diariamente, aparte de las aguas residuales de inodoro con contenido fecal, las aguas grises, que son aquellas que provienen del lavado de manos, prendas, alimentos, etc., que sin bien no contienen elevadas concentraciones de contaminantes como las aguas residuales industriales, estas contienen parámetros que podrían alterar la calidad del ambiente luego de su vertimiento.

El INEI (2020), menciona que menos del 25,2% de la población peruana, principalmente las pertenecientes a las zonas rurales, no cuenta con acceso a la red pública de alcantarillado de los cuales el 1,2% representa a aquellos pobladores que eliminan sus excretas directamente a ríos, acequias o canales y el 6,5% no posee ningún tipo de servicio que le permita eliminar sus residuos.

El centro poblado Huayán, no posee sistemas de alcantarillado público, donde únicamente tienen redes de tuberías a escasos metros bajo suelo instalados por los mismos pobladores, que descargan sus aguas residuales sin tratamiento en los canales de regadío que alimentan a los campos agrícolas del valle de Huaral.

Actualmente se tienen diferentes sistemas de tratamiento de efluentes residuales en diversas escalas, que realiza la función de depurar los contaminantes mediante procesos de tipo físicos, químicos y biológicos, pero lo complejo de algunos de estos tratamientos es su elevado costo en instalaciones y mantenimientos continuos. Los países considerados

potencias mundiales o de ingresos económicos altos tienen un 70 % de cobertura de tratamiento de sus aguas residuales domésticas e industriales, seguido de los estados con ingresos medios y bajos con un porcentaje de 38 % de cobertura, los de ingresos medios y bajos con 28 % y finalmente con un 8 % los países de bajos ingresos. (UNESCO, 2017).

Ante sus necesidades de encontrar soluciones óptimas para reducir el grado de contaminación del agua, se emplearon distintas funciones de cuerpo receptor, afectados por las aguas residuales, Jiménez (2016) refiere que la ingeniería está tratando desde años atrás, mediante sus conocimientos científicos y tecnológicos, en desarrollar nuevos o mejorados proyectos eficaces para el tratamiento de aguas residuales que sean viables para la aplicación en diversos contextos situacionales.

Ome y Zafra (2018) sostienen que: “La biorremediación ha probado ser una opción válida para sentar las bases de modernos sistemas de depuración de efluentes residuales y mejorar los sistemas tradicionales usados” (p.573). Ejemplo de ello es la aplicación de sistemas naturales de fitorremediación, que consisten en utilizar distintas especies vegetales acuáticas que tengan la capacidad de eliminar o reducir los contaminantes del agua residual mediante procesos bioquímicos con la presencia de factores externos como la temperatura, potencial de hidrógeno, microorganismos, etc. (Higuera *et al.*, 2019).

La problemática identificada en el centro poblado Huayán, al igual que en diferentes lugares del país, es la inexistencia de redes de alcantarillado y de sistemas de tratamientos de efluentes que garanticen que la concentración de parámetros del efluente no signifique un impacto ambiental negativo sobre los componentes ambientales del área.

El propósito del desarrollo de la investigación es aplicar la técnica de fitorremediación con especies nativas para tratar las aguas residuales domésticas al considerar que la relación costo-beneficio es la óptima para su ejecución.

En el trabajo de investigación se comparó la eficiencia de remoción de la *Colocasia esculenta* “pituca” y *Phragmites australis* “carrizo” para la disminución de los parámetros contaminantes de los efluentes domésticos generada por los habitantes del centro poblado Huayán ubicada en el distrito de Huaral.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Cuál de las dos especies *Colocasia esculenta* “pituca” o *Phragmites australis* “carrizo”, presentará mayor eficiencia en la reducción de la concentración de parámetros del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo es la calidad del agua residual doméstica del centro poblado Huayán antes del tratamiento de fitorremediación?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán posterior al tratamiento de fitorremediación con la especie *Colocasia esculenta* “pituca”?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán posterior al tratamiento de fitorremediación con la especie *Phragmites australis* “carrizo”?

## **1.3. Objetivos de la investigación**

### **1.3.1. Objetivo general**

- Comparar la eficiencia de la *Colocasia esculenta* “pituca” y *Phragmites australis* “carrizo” en la reducción de la concentración de parámetros del agua residual domésticas del centro poblado Huayán-Huaral.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar la calidad del agua residual doméstica del centro poblado Huayán antes del tratamiento de fitorremediación.
- Calcular el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica mediante el tratamiento de fitorremediación con la especie *Colocasia esculenta* “pituca”.
- Calcular el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica mediante el tratamiento de fitorremediación con la especie *Phragmites*

*australis* “carrizo”.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

**Justificación técnica:** La aplicación de técnicas de fitorremediación para depurar contaminantes de cuerpos de agua resulta una alternativa económica y ambientalmente viable, al no representar impactos significativos y costos elevados, debido a que se emplean especies de plantas nativas con capacidad de reducir la concentración de parámetros del agua que al encontrarse con nivel elevados representa un peligro para el ambiente y los seres humanos.

**Justificación científica:** La búsqueda de información es una herramienta importante que permite recopilar diferentes experiencias de investigadores a nivel mundial, que a su vez son la base para desarrollar futuros proyectos capaces de solucionar problemas sociales como la contaminación de los recursos hídricos por aguas residuales domésticas; en ese contexto, la presente investigación sobre la comparación del potencial fitorremediador de especies como la *Colocasia esculenta* “pituca” y *Phragmites australis* “carrizo” para regular los parámetros del agua residual dentro de la legislación nacional son de gran aporte socioambiental y académico que impulsarán a la sociedad a realizar más investigaciones con resultados positivos y con excelente base teórico-práctico.

**Justificación ambiental:** El presente trabajo de investigación está basado en contrarrestar los daños al ambiente generados por la dispersión de efluentes domésticos, sin procedimiento adecuado a los depósitos de agua; sobre todo por la falta de cobertura de redes de alcantarillado y para el sistema de procedimientos de efluentes residuales en el País, específicamente en el distrito y poblados de Huaral, que aun cuando poseen Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), no son eficientes, no cuentan con personal capacitado y no reciben el adecuado mantenimiento para cumplir correctamente su función.

**Justificación social:** El recurso hídrico es de vital importancia para el desarrollo de la humanidad, mediante su aplicación en los pilares alimenticios, productivos, culturales, económicos, etc., por esta razón es necesario desarrollar nuevas políticas basadas en la conservación y preservación de este recurso y su influencia sobre los ecosistemas. La problemática de contaminación ambiental del sistema hídrico produce impactos directos

e indirectos a la sociedad, causando conflictos y tensiones a diversas escalas. Por ello existe la necesidad de brindar soluciones a su demanda mediante alternativas a corto plazo como la implementación de sistemas biorremediadores de sitios contaminados con recursos nativos que logren brindar mejor calidad de vida a las poblaciones y su entorno.

### **1.5. Delimitación del estudio**

El presente trabajo se ejecutó a nivel local, exactamente en el centro poblado con nombre Huayán perteneciente al distrito de Huaral, provincia de Huaral, departamento de Lima - Perú. Se desarrolló desde el mes de abril a junio de 2022.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Navarro *et al.* (2020), su artículo científico analizó la base de datos del año 2009 al 2018 de la optimización histórica de las plantas que tratan los efluentes de la municipalidad del departamento de Tarn-Francia que utiliza especies vegetales *Phragmites australis* y *Typha latifolia* como depurador de contaminantes en diferentes etapas o en sistemas de recirculación. El análisis de datos permitió definir que las plantas de tratamiento de los efluentes de Tarn presentan elevada eficacia de contaminantes como es la Demanda Bioquímica de Oxígeno, la Demanda Química de Oxígeno, los Sólidos Suspendidos Totales y Nitrógeno Total, principalmente en los humedales verticales de 2 etapas. En el tratamiento donde se comparó las especies de plantas fitorremediadoras ambas resultaron óptimas para reducir los valores de turbiedad y de los microcontaminantes orgánicos como cafeína, galaxolide, tonalide, alquilfenoles, parsol y sunscreen UV-15.

Suárez y Vásquez (2020) en su trabajo de investigación evaluaron el potencial fitorremediador de las especies *Typha latifolia* “espadaña” y *Pistia stratiotes* “lechuga de agua” para remediar los parámetros pH, Conductividad, Sólidos Disueltos Totales, Oxígeno Disuelto, la turbiedad, la temperatura (T°), la DQO, los Nitritos, los Nitratos y los Fosfatos de las aguas residuales de la Planta de Tratamiento Gonzales Suarez de la ciudad de Imbabura Ecuador. En la investigación fueron sembradas 55.8 Kg. de cada especie en un área cubierta de 10m x 3,30m de los humedales artificiales de la PTAR para posteriormente realizar monitoreos mensuales de julio de 2019 a enero de 2020 del afluente y efluente del sistema de fitorremediación. Para el procesamiento de la información aplicaron la prueba U de Mann Whitney para comprobar la significancia entre los 2 tratamientos. Finalmente, los resultados analizados evidenciaron que esta especie *T. latifolia* produjo un elevado nivel de eliminación (92%), además la DQO en comparación a la *Pistia stratiotes* que presentó mejor porcentaje de remoción (64%) de los compuestos nitrogenados del agua residual doméstica. Igualmente, la prueba estadística permitió comprobar que ambas macrófitas poseen aceptable eficiencia para el tratamiento de efluentes.

Mendoza *et al.* (2018) en su artículo científico instaló 5 recipientes experimentales con diferentes porcentajes de especies de plantas fitorremediadoras como la *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, acompañadas de un control experimental, para evaluar su relación con el grado de eliminación de contaminantes de efluentes municipales en un tiempo de retención de 84 días con toma de muestras cada 7 días. Transcurrido los días de experimentación se obtuvo como conclusión, a través los análisis de Dunnet, no tiene diferencia relevante en los tratamientos de fitorremediación y la muestra control. Sin embargo, entre todas las pruebas experimentales, la conformada con 100% y 50% de *Pistia stratiotes* logró porcentajes de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (76,2%), Demanda Química de Oxígeno (76,2%), Coliformes Totales y Coliformes Fecales (99,9%), Nitrito (78,5%), Nitrato (24,9%), Amonio (24,9%) y Fosfato (51,6%) del agua residual municipal.

Ramírez (2018) para el desarrollo de su artículo científico construyó humedales artificiales para comparar la eficiencia fitorremediadoras de las especies *Chrysopogon zizanioides* “vetiver” y la *Pennisetum purpureum* “elefanta”, utilizando muestras de agua residual doméstica sintética en Medellín-Colombia, que simulaban químicamente a las aguas residuales domésticas. Implementó al *Cyperus alternifolius* “papiro japonés” en su investigación al ser una especie comúnmente utilizada en humedales artificiales y también recipientes como blanco de muestra. Al finalizar su investigación concluyó que la especie *Pennisetum purpureum* tuvo mayor eficacia en la eliminación de contaminantes como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (74,12%), Demanda Química de Oxígeno (77,92%), Sólidos Suspendedos Totales (94,76%), Nitrógeno total (42,01%) y Fósforo total (24,01%), demostrando tener mayor potencial que la especie *Cyperus alternifolius*. Caso contrario resultó la especie *Chrysopogon zizanioides*, que presentó bajos porcentajes de remoción de contaminantes y se observó alteraciones como su crecimiento e intolerancia a ambientes con alta concentración de humedad.

Carreño (2016) en su investigación diseñó un sistema a pequeña escala con presencia de la especie *Eichhornia crassipes* para tratar el efluente residual que se origina de las actividades de curtiembre donde evaluó el potencial fitorremediador de esta planta acuática para reducir la concentración de parámetros elevados de la industria del cuero, como lo son el cromo y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Realizó una su experimentación a pequeña escala con 7 diferentes sistemas de tratamiento constituidos

por recipientes de 10L de volumen, en donde incluían la *Eichhornia crassipes* con diferentes proporciones de agua residual y agua destilada y se practicaban 11 evaluaciones cada 2 días para observar el comportamiento de remoción de la concentración de cromo (mg/L), y la reducción de la DBO al inicio y final de las pruebas experimentales. Al finalizar los días de tratamiento, determinó que la *Eichhornia crassipes* tuvo gran eficiencia para reducir la concentración de cromo en las 7 pruebas con porcentajes mayores a 45% y en las pruebas de DBO logró reducir su concentración en porcentaje mayores a 66%.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Mena (2022) en su trabajo de investigación implemento un análisis piloto de humedales artificiales del tipo subsuperficial con 3 especies vegetales diferentes como el *Phragmites australis* “carrizo”, *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua” y *Schoenoplectus colifornicus* “junco” para comparar y determinar la especie con gran eficacia de remoción de contaminantes de efluentes domésticos del caserío de Nueva Esperanza de la provincia de Huaura. Los porcentajes de remoción con la especie *P. australis* fue del 46% del parámetro de la DBO, 40% de la DQO y 37% de Aceites y Grasas; con la especie *E. crassipes* con el porcentaje de 72% de la DBO, 68% de la DQO y 66% de grasas y aceites; y el humedal con la especie *Schoenoplectus colifornicus* fue del 70% de la DBO, 58% de la DQO y 62% de Aceites y Grasas. También se comprobó la eficiencia de remoción de metales pesados, cuyos mayores porcentajes fueron del 94,73% de Níquel (Ni), 84,36% de Plomo (Pb) y 78,48% de Cadmio (Cd) con el jacinto de agua. Finalmente concluyó que las 3 especies poseen muy buena eficacia de remoción de contaminantes, de los cuales resalta *Eichhornia crassipes* “jacinto de agua” como la de mayor eficiencia en sistemas de tratamiento con humedales artificiales.

Rodríguez (2019) en su trabajo de investigación diseñó un filtro rústico para remover contaminantes de los efluentes domésticos del sector Las Lomas de la provincia de Moyobamba, constituido por 3 compartimentos que cumplen las funciones de sedimentador, medio filtrante y clarificador. El análisis de los efluentes tratados se realizó en 4 lapsos de tiempo (40, 55, 71 y 91 días) luego de iniciado el experimento. Finalmente, se concluyó que la aplicación del filtro biológico produce una alta eliminación de contaminantes contenidos en los efluentes domésticos; logrando disminuir el valor de los niveles de turbidez, sólidos suspendidos totales (máxima remoción de 81,27% luego de 40 días), demanda bioquímica

de oxígeno - DBO<sub>5</sub> (máxima remoción en 85,40% luego de 40 días), demanda química de oxígeno - DQO (máxima remoción en 82,36% luego de 40 días) y coliformes termotolerantes (máxima remoción en 97,17% luego de 91 días) , demostrando que la eficiencia de remoción varía dependiendo del tiempo y la concentración de cada parámetro; y se logró que los valores de sus parámetros luego tratamiento estén bajo los Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas de plantas de tratamiento de los efluentes domésticos como lo estipula el D.S N° 003-2010-MINAM.

Carhuaricra (2019) en su proyecto de investigación implemento un humedal de tipo artificial de flujo libre superficial para su experimento, para luego insertar las macrófitas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* y luego comprobar su capacidad de eliminación de los contaminantes de los efluentes domésticos en Pacaypampa-Huánuco en relación a 4 tiempos de retención (23,4; 31,2; 39 y 46,8 horas) del efluente en el sistema. El investigador analizó los parámetros: pH, Conductividad, Temperatura, Coliformes Termotolerantes, DBO, DQO y Sólidos Totales en Suspensión en los diferentes tiempos de retención. Los resultados analizados in-situ y ex-situ mostraron que hubo reducción de los valores de las variables como los Sólidos Totales en Suspensión (sus primeros datos en 23,4 horas indicó 132 mg/L y se obtuvo su máxima reducción a 68 mg/L en 46,8 horas), DBO (El primer resultado en 23,4 horas indicó 99,8 mg/L y se obtuvo su máxima reducción a 34,7 mg/L en 39 horas), DQO (El primer resultado en 23,4 horas indicó 271,1 mg/L y se obtuvo su máxima reducción a 128,4 mg/L en 39 horas) y Coliformes Termotolerantes (El primer resultado en 23,4 horas indicó 1300000 NMP/100ml y se obtuvo su máxima reducción a 230 NMP/100ml en 39 horas. Los demás parámetros incrementaron sus valores conforme transcurrían las horas de retención del efluente. Finalmente, el investigador concluyó las especies macrófitas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* poseen gran capacidad fitorremediadora, y que todos los parámetros experimentados, inclusive los que incrementaron sus valores, no superaron los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de efluentes Residuales Domésticas o de las Municipalidades (PTAR) - Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Solano (2019) en su estudio experimental comparó la eficiencia fitorremediadora de los efluentes doméstica con los datos del dren 4000 de Chiclayo con presencia de las especies macrófitas *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* en diferentes recipientes con capacidad de 50 litros en 3 lapsos de tiempo cada 7 días (Día 7, día 14 y día 21 de estancamiento del

efluente residual en el sistema de tratamiento). Llevo a cabo la caracterización del agua residual previo tratamiento comprobando que inicialmente los parámetros excedían los Límites Máximos Permisibles. Posteriormente a los 21 días de fitorremediación y sus respectivos resultados de los efluentes residuales tratados, obtuvo matemáticamente los porcentajes de eficiencia de los parámetros en los 2 recipientes, donde la *Pistia stratiotes* mostró un nivel de remoción máxima de la Turbidez del 98,92% a los 14 días de tratamiento y la DQO y DBO<sub>5</sub> en un 78,40% y 88,035% respectivamente al día 21 de tratamiento. En el caso de la especie *Azolla filiculoides* disminuyó la Turbidez en un porcentaje de 99,19% a los 14 días, y finalmente la DQO y DBO<sub>5</sub> en un 67,82% y 79,65% respectivamente al día 21 de iniciado el tratamiento. El investigador concluyó que la *Pistia stratiotes* tuvo mayor eficiencia para tratar los efluentes residuales del dren 4000 de la zona de Santa Rosa, Lambayeque.

Rosas (2018) en su trabajo de investigación experimental evaluó la capacidad de la eliminación de contaminantes como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxígeno (DQO), *Escherichia coli* y Coliformes Termotolerantes de muestras del canal de regadío que transcurre por el vivero de la municipalidad de Los Olivos del departamento de Lima, mediante el accionar de humedales artificiales de flujo horizontal con las especies vegetal macrófitas *Typha latifolia* y *P. australis* para luego ser comparadas con el niveles de Calidad Ambiental para agua del D.S.N°004-2017-MINAM. Los resultados de la investigación demuestran que los niveles de eliminación de los contaminantes con la especie *T. latifolia* son 96,78% de la DBO<sub>5</sub>, 37,84% de la DQO, 94,99% de *Escherichia coli* y 97,60% de Coliformes Termotolerantes; y con la especie vegetales *P. australis* la eficiencia de remoción fue de 97,32% de la DBO<sub>5</sub>, 39,96% de la DQO, 97,71% de *Escherichia coli* y 98,64% de Coliformes Termotolerantes. La conclusión de la investigación comprobó que la especie *Phragmites australis* presenta mejor eficacia de eliminación de los niveles de contaminantes comparados con la especie *Typha latifolia*.

Ayala *et al.* (2018) en el desarrollo de su trabajo de investigación evaluaron el nivel fitorremediadora de las especies vegetales macrófitas *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale* insertadas para realizar un método de fitorremediación de pequeño nivel para tratar el efluente doméstico de la quebrada de Santa Lucía en un periodo de 15 días. Los sistemas estuvieron conformados por 4 estanques que simulaban ser lagunas naturales; cada especie de planta fue cultivada en su respectivo estanque y el cuarto

estanque fue el sistema de control o testigo del experimento. Pasado los 15 días se analizó el agua residual y demostró que las 3 especies remueven eficiente los contaminantes fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales, en el caso del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) fueron removidos en un nivel de 84,72%, 84,19% y 82,12%; la DQO en 90,77%, 84,77% y 82,12%; Sólidos Suspendidos Totales en 80,87%, 70,03%, 83,02%, y Turbidez en 90,33%, 89,00% y 92,00% por las especies *Eichhornia crassipes*, *Nasturtium officinale* y *Nymphoides humboldtiana* respectivamente. En términos generales, basados en los promedios de remoción, la especie de mayor eficiencia para remover los contaminantes fue la *Eichhornia crassipes* con un promedio de remoción del 81,11%, seguido de la *Nymphoides humboldtiana* con 80,71% y la *Nasturtium officinale* con 77,65%.

Dionisio (2012) en su trabajo de investigación diseñó un sistema tipo Reactor Anaerobio y Filtro de Flujo Vertical Inverso (RAFFVI) para lograr su objetivo de evaluar el nivel óptimo de eliminación de contaminantes de un canal contaminado por el vertimiento del agua residual de los servicios higiénicos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Implementó sistemas RAFFVI con presencia y en ausencia de la especie vegetal *C. esculenta* y con niveles de tratamiento de 0.5, 1, 2 y 4 ml/s. Los niveles de eliminación de mayor eficiencia para sistemas son de aquellos con presencia de la *Colocasia esculenta* con reducción del 96,14% de Coliformes termotolerantes (CTE) y del 70,30% de Sólidos Totales en Suspensión (TSS). El ejemplo de los niveles pH, TSS y Oxígeno Disuelto la modificación experimental de caudales no tuvo influencia directa en los índices de remoción en comparación del parámetro Coliformes termotolerantes cuyos porcentajes de remoción fueron más eficientes cuando los caudales del tratamiento fueron de 0,5 y 1 ml/s. La conclusión de la investigación demuestra el potencial fitorremediador de la especie *Colocasia esculenta* en sistemas de tratamiento alternativos de aguas residuales para cumplir con las normativas nacionales de saneamiento.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Aguas residuales**

Es aquella agua cuya composición presenta diferentes concentraciones de materia orgánica e inorgánica a causa de su uso como recurso esencial en las fuentes domésticas, municipales e industriales, que al no recibir tratamientos adecuados previo a su vertimiento en almacenes de agua o sistemas de alcantarillado se convertirá en un peligro potencial contra la salud de la población y del ecosistema (SUNASS, 2008).

El territorio peruano presentan múltiples casos por los impactos ambientales negativos a consecuencia y la baja cobertura de sistemas de tratamiento o de la incorrecta orden de los efluentes residuales sin previo manejo para tratar los depósitos de agua como ríos, lagos, el mar, etc., que prontamente serán utilizados para el riego de los la campos agrícolas que aseguran la alimentación de la población peruana y a los países que adquieren los productos agrícolas mediante las exportaciones (PUCP, 2019).

Existe la urgencia de que las aguas residuales atraviesen un correcto tratamiento antes de ser vertidos y entrar en contacto con aguas subterráneas, superficiales o pluviales; debido a que al no ejecutar esto significaría alterar los parámetros como pH, temperatura, materia orgánica, fosfatos, nitratos, etc.; que a corto o largo plazo afectaría a la fauna y flora local y al ser humano que depende de ellos para cumplir sus funciones vitales (Torres *et al.*, 2017).

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental cataloga a los efluentes residuales según su origen de la siguiente manera:

#### **a) Agua residual industrial**

“Son las que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incorporando a las que se originan de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, etc.” (OEFA, 2014).

#### **b) Agua residual municipal**

“Son aquellos efluentes residuales domésticos que pueden estar en conjunto con efluentes de drenaje pluvial o con efluentes residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser agregadas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado” (OEFA, 2014).

### **c) Agua residual doméstica**

“Son aquellas que tienen un origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, que se originan de la actividad de las personas, y deben ser dispuestas adecuadamente” (OEFA, 2014). Este tipo de agua proviene de las actividades del hogar como la limpieza, lavado de prendas, aseo personal, cocina e inclusive el de los inodoros.

#### **2.2.2. Aguas grises**

Son consideradas una subclasificación de los efluentes domésticos que específicamente fueron utilizadas para las lavadoras de ropa, lavaderos de mano y duchas, inclusive en algunos países también incluyen a los efluentes residuales que provienen de las diferentes acciones de cocina a nivel doméstico (Allen, 2015).

#### **2.2.3. Planta de tratamiento de aguas residuales**

Las Plantas de tratamiento de efluentes residuales, reconocidas comúnmente por sus iniciales PTAR, son infraestructuras tecnológicas de dominio público o privado cuya función principal es recolectar y tratar eficientemente las aguas residuales de orígenes específico como los de tipo domésticos, municipales o industriales, donde previamente se comprobará si las concentraciones de sus parámetros no vulneran las normativas nacionales para su póstumo vertimiento a cuerpos de agua en calidad de cuerpo receptor o en los sistemas de alcantarillado público (SUNASS, 2022).

El funcionamiento de las PTAR consta de diferentes series o procesos fisicoquímicos y biológicos mediante la ejecución de tecnologías convencionales que se aplicaran de manera continua, donde al finalizar se realizan el monitoreo de sus parámetros para evaluar su destino final como el reusó o disposición final en otros cuerpos de agua de acuerdo a su cumplimiento de las normas ambientales sectoriales (Nevado, 2022).

#### **2.2.4. Etapas de tratamiento de las aguas residuales**

##### **a) Pretratamiento**

Consiste en la depuración de sólidos gruesos, objetos suspendidos, aceites y grasas que puedan provocar menor eficacia en los póstumos tratamientos o averías en los equipos

(Metcalf y Eddy, 1995).

#### **b) Tratamientos primarios**

En esta etapa se eliminan los sólidos suspendidos y materia orgánica mediante procesos físicos como la sedimentación y el tamizado por rejillas (Metcalf y Eddy, 1995).

#### **c) Tratamientos secundarios**

En esta etapa se produce la remoción de los sólidos suspendidos que no son separados en los primeros tratamientos y los compuestos orgánicos biodegradables mediante procesos biológicos y químicos como sistemas de lagunaje, reactores, fangos activados, etc. (Metcalf y Eddy, 1995).

#### **d) Tratamientos terciarios**

En este periodo se produce la eliminación de componentes de efluentes residuales como el fósforo y nitrógeno, brindar la posibilidad de dar nueva utilidad de los fangos y preparar al agua tratada para no producir impactos a los cuerpos de agua luego de su vertimiento (Metcalf y Eddy, 1995).

### **2.2.5. Humedales artificiales**

Según Arce (2018) es un mecanismo diseñado y construido con las condiciones de un humedal natural, cuya función es eliminar los contaminantes del efluente residual por medio de procesos físicos, biológicos y químicos; donde se emplean una o más especies de plantas con propiedades de remoción de concentraciones de contaminantes, este proceso también es llamado fitorremediación. Los humedales artificiales pueden eliminar o reducir la concentración de nitrógeno, fósforo, materia orgánica, patógenos, sólidos suspendidos y otros parámetros presentes en los efluentes residuales. Se agrupan según su diseño en:

#### **a) Humedal artificial de flujo libre o superficial**

Existe contacto directo del agua residual con la atmósfera y brinda condiciones aerobias para la remoción de contaminantes. El aspecto que brinda es similar a un ecosistema acuático.

#### **b) Humedal artificial de flujo subsuperficial**

El efluente residual transcurre por el sustrato donde se encuentran las raíces de las plantas y no son visualizados en el exterior.

#### **c) Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical**

Los efluentes residuales, entra por dosificación por la zona superior del humedal y transcurre por gravedad a través del sustrato y las raíces de las plantas, llevando oxígeno a la zona anaerobia del humedal.

#### **d) Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal**

El efluente residual transcurre en dirección horizontal, a través del sustrato y las raíces de las plantas y no tiene contacto directo con la atmósfera.

### **2.2.6. Objetivos de Desarrollo Sostenible**

La Organización de las Naciones Unidas estableció 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas proyectadas para su cumplimiento hasta el 2030 basados en 3 pilares como el ámbito social, económico y ambiental. El objetivo 6, referido a Agua Limpia y Saneamiento busca asegurar la utilización de efluentes y su gestión sustentable para lograr sanear todos en todo el mundo. Mediante un análisis global de la problemática sobre agua y saneamiento se detalló que 6 de cada 10 personas no tiene acceso a una red de saneamiento segura y que un porcentaje superior al 80% de los efluentes residuales originadas por las actividades antrópicas son vertidas directamente sin tratamiento a los ríos y mares de su localidad (Naciones Unidas, 2018).

### **2.2.7. Límites Máximos Permisibles (D.S. N°003-2010-MINAM)**

La legislación peruana decreta los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento de efluentes Residuales Domésticas o de las Municipalidades, que son de cumplimiento obligatorio por el titular mediante monitoreos de los niveles establecidos en el Decreto Supremo.

Tabla 1

*Límites máximos permisibles para efluente de PTAR*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>LMP</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6,5 – 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/L	150
Temperatura	°C	< 35

Nota. La tabla corresponde a los límites planteados en el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM que exhorta el cumplimiento obligatorio de los efluentes residuales de tipo doméstica y municipal generadas en el Perú.

### **2.2.8. Fitorremediación**

Según Delgadillo *et al.* (2011), “La fitorremediación es una unión de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos en consorcio” (p. 597).

El tratamiento de efluentes residuales por intermedio de la fitorremediación representa una solución eficiente y económica, debido a que no requiere consumo de energía y de otros materiales de elevado costo en comparación a las tecnologías de tratamiento convencionales. Su eficiencia radica en los procesos biológicos de las especies de planta con potencial fitorremediador y su interacción con los microorganismos como en los procesos de adsorción, absorción, degradación, acumulación, etc.

Emplear tratamientos de fitorremediación es buena alternativa de aplicación para las viviendas de los lugares que no tengan un sistema de tratamiento de efluentes residuales, principalmente para las poblaciones que no cuentan con servicios de agua y desagüe y tienen la necesidad de reutilizar las aguas residuales tratadas para actividades como la agricultura y labores domésticas. (Murcia *et al.*, 2014).

Las últimas investigaciones de alcance nacional no han analizado a detalle el impacto ambiental de los efluentes residuales domésticos en los cuerpos de agua y su posible

tratamiento mediante sistemas de fitorremediación con las especies *Colocasia esculenta* “pituca” y *Phragmites australis* “carrizo” para el cumplimiento de las normativas nacionales o su reaprovechamiento en la actividad doméstica o agropecuaria.

La alternativa que se planteará en la investigación para tratar los efluentes residuales domésticos del CC.PP. Huayán del distrito de Huaral es el diseño y construcción de un sistema a nivel piloto de tratamiento que involucra especies de plantas locales como la *Colocasia esculenta* “pituca” y *Phragmites australis* “carrizo”, donde se comprobará cuál de ellas presenta mayor eficiencia en la reducción de los parámetros como el pH, temperatura, Sólidos Totales en Suspensión (TSS), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Coliformes Termotolerantes (CTE)

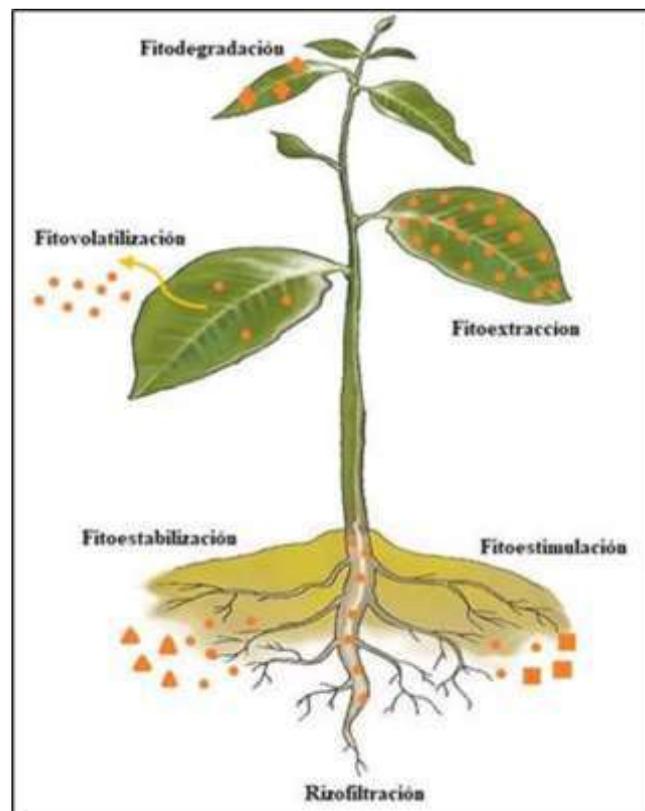


Figura 1. Esquema de los mecanismos de fitorremediación.

Fuente: Ávila,2017.

Tabla 2

*Mecanismos que encontramos en la fitorremediación*

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoinmovilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

**Nota.** Las especies de plantas utilizadas para fitorremediación poseen diferentes mecanismos de depuración de los contaminantes. Fuente: Ghosh y Singh (2005).

### 2.2.9. Colocasia esculenta

La *Colocasia esculenta*, también conocida por sus nombres comunes como pituca, papa cantón o malanga, es una planta herbácea que habita en ambientes tropicales y subtropicales con crecimiento promedio de 1 a 3 metros (Chemonics Internacional, 2004). Requiere humedad para su crecimiento, un clima promedio de 21°C, suelos arcillosos y pH ligeramente ácido entre 5.5 y 6.5. Esta especie produce un tubérculo o cormo central comestible de forma cónica que posee alto valor nutricional y por tal motivo es parte de la alimentación básico de muchos países. (Lozada, 2005).

La clasificación taxonomía de la *Colocasia esculenta* según (Chemonics Internacional, 2004) es la siguiente:

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Clase:** Liliopsida
- **Orden:** Arales

- **Familia:** Araceae
- **Tribu:** Colocasieae
- **Género:** *Colocasia*
- **Especie:** *Colocasia esculenta*



*Figura 2.* *Colocasia esculenta* “pituca”.

#### 2.2.10. *Phragmites australis*

Conocida por su nombre común como carrizo, habita en regiones de climas subtropicales, templadas y frías a nivel mundial, específicamente en lagunas y humedales. Son plantas herbáceas, que tienen un crecimiento de 1 a 4 metros aproximadamente y presentan tallos rastreros de gran longitud que le permite reproducirse a través de sus rizomas y las yemas que poseen. Tienen inflorescencia similar a una espiga de color amarillento y hojas largas de color verde. El carrizo comúnmente se desarrolla en altitudes menor a los 1600 m.s.n.m. en suelos con baja acidez. (Ramón y Santos, 1997).

La clasificación taxonómica de la *Phragmites australis* es:

- **Reino:** Plantae
- **División:** Magnoliophyta
- **Orden:** Poales
- **Familia:** Poaceae

- **Tribu:** Arundineae
- **Género:** *Phragmites*
- **Especie:** *Phragmites australis*



*Figura 3.* *Phragmites australis* “carrizo”.

#### **2.2.11. Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH representa el nivel o grado de la alcalinidad o la acidez de una solución líquida o semiacuosa de acuerdo a una escala numérica del 1 a 14; en términos matemáticos el pH resulta del logaritmo en nivel a 10 de la concentración encontrada de los iones de hidrógeno de la solución (Vázquez y Rojas, 2016)

#### **2.2.12. Temperatura**

Es el parámetro físico involucrado en la velocidad de la actividad biológica y química como la floculación, sedimentación, mezclas, etc. (CEPIS, 2004).

#### **2.2.13. Sólidos Totales en Suspensión (TSS)**

Es la cantidad total de material particulado suspendido en muestras de agua superficial o residual (Secretaría General de la Comunidad Andina, 2008)

#### **2.2.14. Coliformes termotolerantes (CTE)**

Comprende a aquellos microorganismos que soportan temperaturas de 45°C, de los cuales

están conformado por especies como *E. coli*, *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae*; por ello son considerados indicadores ambientales de contaminación fecal en fuentes de agua, suelos y vegetación (Larrea *et al.* 2012).

### **2.2.15. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

El nivel ambiental DBO calcula los niveles de oxígeno que se necesitan para deshacer el material orgánico por acción bioquímica en aerobiosis. Las unidades de este parámetro se expresan en mg/L (CEPIS, 2004).

## **2.3. Definición de términos básicos**

- **Alcantarillado público**

Sistema perteneciente a un prestador de servicio de saneamiento público conformado por canales y conductos que cumplen la función de recolectar, conducir y disponer las aguas residuales y pluviales de acuerdo a ley (GSA Saneamiento Ambiental, 2022).

- **Remoción de contaminantes**

Eliminación o reducción de la concentración de contaminantes generados por las actividades del hombre aplicando procesos físicos, químicos y biológicos (Calderón, 2018).

- **Eficiencia**

Según la Real Academia Española (RAE, 2022) es la capacidad de obtener un logro o efecto utilizando adecuadamente los recursos en el menor tiempo posible.

- **Estándares de la Calidad Ambiental (ECA)**

El Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2022) lo define como los valores máximos permitidos en el ambiente como cuerpo receptor (aire, agua o suelo), logrando garantizar la conservación del ambiente.

- **Límite Máximo Permisible (LMP)**

Comprende los niveles o concentraciones máximas permitidas de los valores de los efluentes o emisiones de las actividades antrópicas que pueden provocar impactos ambientales negativos para el ambiente y la salud (Dirección General de Salud Ambiental [DGSA-MINSA], 2010).

- **Medición de parámetros in-situ**

Parámetros medidos inmediatamente en campo debido a sus características o inestabilidad en el ambiente como el pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad de la electricidad, etc. (Laboratorio de Gestión Ambiental LGA, 2022).

- **Medición de parámetros ex-situ**

Parámetros analizados en laboratorios como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Coliformes, etc.; utilizando equipos y procedimientos estipulados en normativas (Mora y García, 2020).

- **Vertimiento de aguas residuales**

El vertimiento de efluentes residuales donde anticipadamente debería atravesar por procesos de tratamiento para luego ser depositadas en los cuerpos de agua (SINIA, 2019).

## **2.4. Hipótesis de investigación**

### **2.4.1. Hipótesis general**

- La especie *Phragmites australis* “carrizo” tendrá mayor eficiencia de remoción de contaminantes que la especie *Colocasia esculenta* “pituca” para el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Huayán-Huaral.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- La concentración inicial de los parámetros del agua residual doméstica del centro poblado Huayán excederán los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM y el ECA del D.S. N°004-2017-MINAM de Categoría 3: Riego de Vegetales y bebida de animales.
- Los porcentajes de remoción de contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán con la especie *Colocasia esculenta* “pituca” serán mayores o iguales al 50%
- Los porcentajes de remoción de contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán con la especie *Phragmites australis* “carrizo” serán mayores o iguales al 50%.

## 2.5. Operacionalización de las variables

Tabla 3

*Operacionalización de variables del experimento*

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	METODOLOGÍA	
<b>Variable Independiente:</b>	Tratamiento con <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” (X1)	Cantidad de especies	Dosis (2 especies por recipiente)	Unidad de especie	Metodología de Ramírez (2018)
			Volumen de agua residual (20 litros)	Litros	
Tratamiento de fitorremediación (X)	Tratamiento con <i>Phragmites australis</i> “carrizo” (X2)	Tiempo de retención de agua (t)	t1= 7	Días	Metodología de Solano (2019)
			t2= 14		
<b>Variable Dependiente:</b>	Características fisicoquímicas y microbiológicas del agua residual (Y1)	Parámetros fisicoquímicos	Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	Potenciómetro
			Temperatura	Grados Celsius (°C)	Termómetro
			Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	<b>Método:</b> SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D: 23rd: 2017. Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO – Aplicado fuera del alcance) 2017.
			Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	<b>Método:</b> SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed: 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test.

	Parámetros microbiológicos	Coliformes Termotolerantes (CTE)	NMP/100ml	<b>Método:</b> SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed. 2017; Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
Eficiencia del tratamiento (Y2)	Porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Porcentaje de remoción de la DBO <sub>5</sub> con la especie <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” Porcentaje de remoción de la DBO <sub>5</sub> con la especie <i>Phragmites australis</i> “carrizo”	%Remoción (DBO <sub>5</sub> )	Fórmula de Palta y Morales (2014)
	Porcentaje de remoción de Coliformes Termotolerantes (CTE)	Porcentaje de remoción de CTE con la especie <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” Porcentaje de remoción de CTE con la especie <i>Phragmites australis</i> “carrizo”	%Remoción (CTE)	

---

## CAPITULO III. METODOLOGÍA

### 3.1. Gestión del experimento

#### 3.1.1. Ubicación

Este experimento se realizó en el área de la zona poblada de Huayán, ubicada a 14 kilómetros de la ciudad de Huaral, provincia de Huaral del Departamento de Lima. Es una zona dedicada netamente a la actividad agropecuaria por su clima favorable, suelo fértil y su distancia de 500 metros al río Chancay-Huaral.

- **Altitud:** 367 m.s.n.m.
- **Coordenadas en UTM:**
  - ✓ 268357.12 E
  - ✓ 8733076.05 N

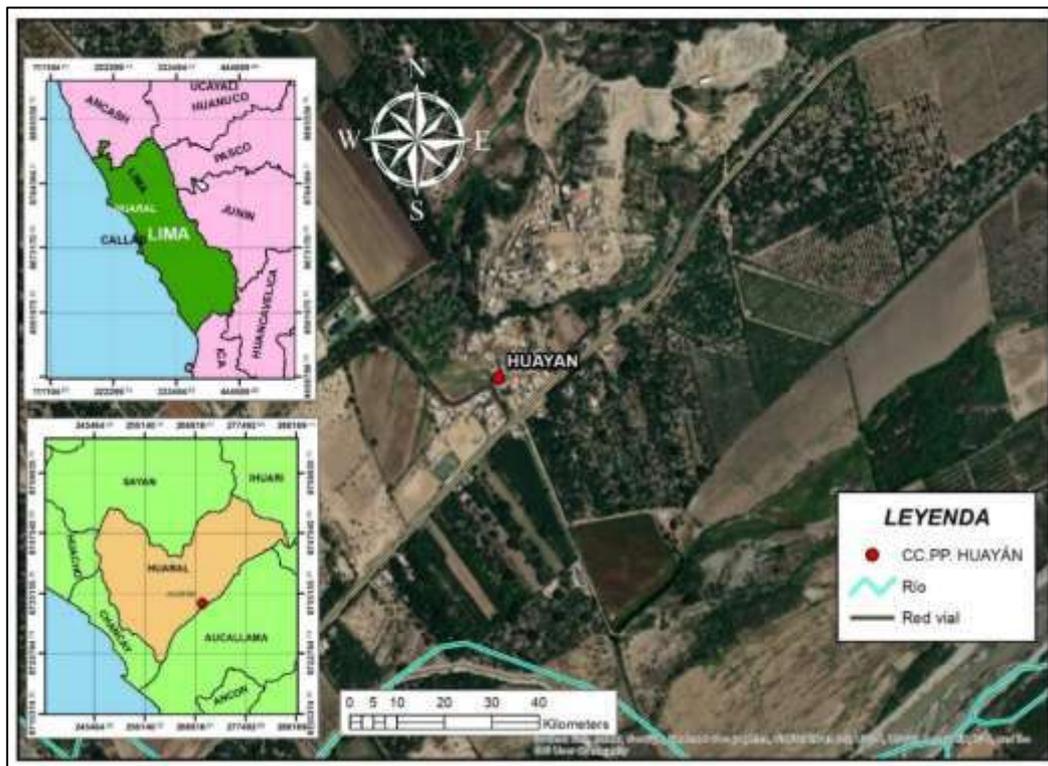


Figura 4. Mapa de ubicación del CC.PP. Huayán – Huaral.

### 3.1.2. Características del área experimental

La zona experimental fue instalada a 10 metros del punto de vertimiento del agua residual doméstica del centro poblado Huayán del distrito de Huaral. El área fue delimitada y cercada con material rústico en forma rectangular con dimensiones de 6 m x 4 m para luego ser cubierta en la parte superior y los laterales con material plástico para evitar el ingreso de cuerpos extraños a los recipientes experimentales.

- **Coordenadas en UTM:**

- ✓ 268309.10 E

- ✓ 8733203.90 N

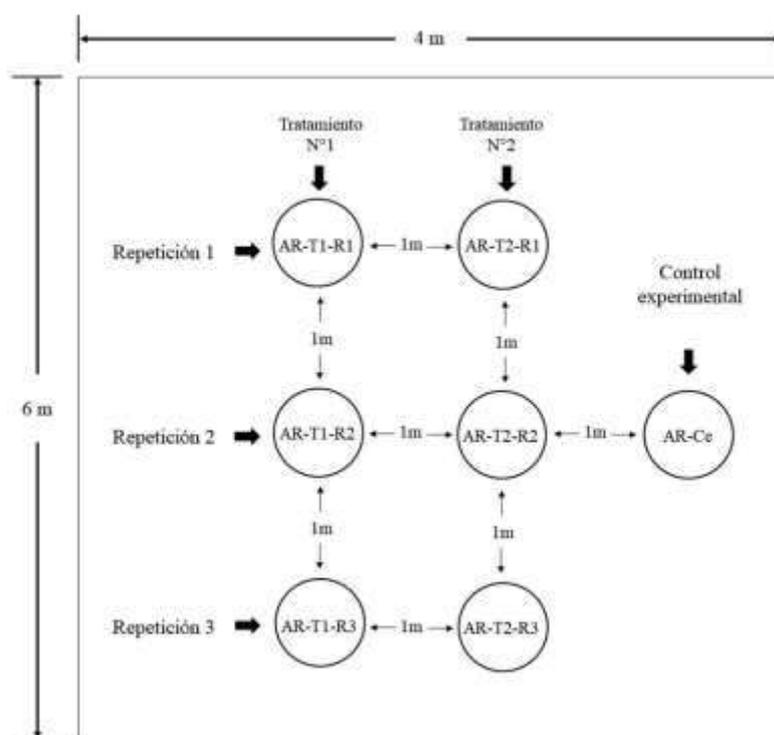


Figura 5. Esquema de diseño de campo de la investigación.

### 3.1.3. Tratamientos

Se realizarán 2 tratamientos con 3 repeticiones cada uno, donde cada recipiente simulará la función de humedales con 20 litros de agua residual. El tratamiento 1 y 2 almacenará 2 unidades fitorremediadoras de las especies *Colocasia esculenta* “pituca” y *Phragmites australis* “carrizo” correspondientemente. Los niveles de pH, temperatura, Sólidos Totales en Suspensión (TSS), Coliformes termotolerantes (CTE) y Demanda Bioquímica

de Oxígeno (DBO) serán evaluados antes de los tratamientos y posteriormente en 2 fechas de retención del agua residual en el sistema de fitorremediación después de 07 y 14 días después de iniciado el tratamiento para luego realizar comparaciones entre el tratamiento 1 (T<sub>1</sub>), tratamiento 2 (T<sub>2</sub>) y la muestra de agua sin tratar (AR- EFL).

Tabla 4

*Tratamientos y control del experimento*

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Tiempos de retención hidráulica (t)</b>
<b>T<sub>1</sub></b>	<i>Colocasia esculenta</i>	7 y 14 días
<b>T<sub>2</sub></b>	<i>Phragmites australis</i>	7 y 14 días
<b>AR-EFL</b>	Control (Agua residual sin tratar)	Día 0

Nota. El presente experimento está conformado por 6 unidades experimentales y 1 control.

Tabla 5

*Descripción de los tratamientos del experimento*

<b>N°</b>	<b>Código</b>	<b>Tratamiento</b>
0	AR-EFL	Toma de muestra de agua residual en el punto de vertimiento (Control)
1	AR-T <sub>1</sub> -R1- t <sub>1y2</sub>	20L agua residual + 2 unidades de <i>Colocasia esculenta</i> + 7 y 14 días
2	AR-T <sub>2</sub> -R1- t <sub>1y2</sub>	20L agua residual + 2 unidades de <i>Colocasia esculenta</i> + 7 y 14 días
3	AR-T <sub>1</sub> -R2- t <sub>1y2</sub>	20L agua residual + 2 unidades de <i>Colocasia esculenta</i> + 7 y 14 días
4	AR-T <sub>2</sub> -R2- t <sub>1y2</sub>	20L agua residual + 2 unidades de <i>Colocasia esculenta</i> + 7 y 14 días
5	AR- T <sub>1</sub> -R3- t <sub>1y2</sub>	20L agua residual + 2 unidades de <i>Colocasia esculenta</i> + 7 y 14 días
6	AR- T <sub>2</sub> -R3- t <sub>1y2</sub>	20L agua residual + 2 unidades de <i>Colocasia esculenta</i> + 7 y 14 días

**Nota.** Codificación de las unidades experimentales del proyecto.

### 3.1.4 Diseño experimental

Según Hernández *et al.* (2014) la investigación experimental “es su trabajo en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes dentro de una situación de control para el investigador” (p.129). Las características

mencionadas se vinculan al diseño experimental, dado que se emplearán variables de respuesta para medir los cambios que muestra tras el manejo de la variable independiente para comprobar hipótesis, asimismo, se cuenta con un grupo de control, grupo experimental, tratamientos y aleatoriedad.

- **Tipo de investigación:**

Es de tipo aplicada

- **Diseño de investigación:**

El diseño es experimental

- **Enfoque de investigación:**

Tiene un enfoque cuantitativo

- **Nivel de investigación:**

El nivel es explicativo

### 3.1.5. Variables a evaluar

Tabla 6

*Se muestran las Variables de la investigación*

<b>Variable independiente (V.I.)</b>	<b>Variable dependiente (V.D.)</b>
<p>X = Tratamiento de fitorremediación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• X1 = Tratamiento con Colocasia esculenta “pituca”</li> <li>• X2 = Tratamiento con Phragmites australis “carrizo”</li> </ul>	<p>Y = Remoción de contaminantes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Y1 = Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ pH+</li> <li>✓ Temperatura (T°).</li> <li>✓ Sólidos Totales en Suspensión (TSS).</li> <li>✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).</li> <li>✓ Coliformes Termotolerantes (CTE).</li> </ul> </li> <li>• Y2 = Eficiencia de tratamiento</li> </ul>

### 3.1.6. Conducción del experimento

El experimento se desarrolló mediante una serie de pasos o etapas como se detalla en la Figura 6, que se ejecutaron continuamente para lograr y contrastar los objetivos e hipótesis planteadas.

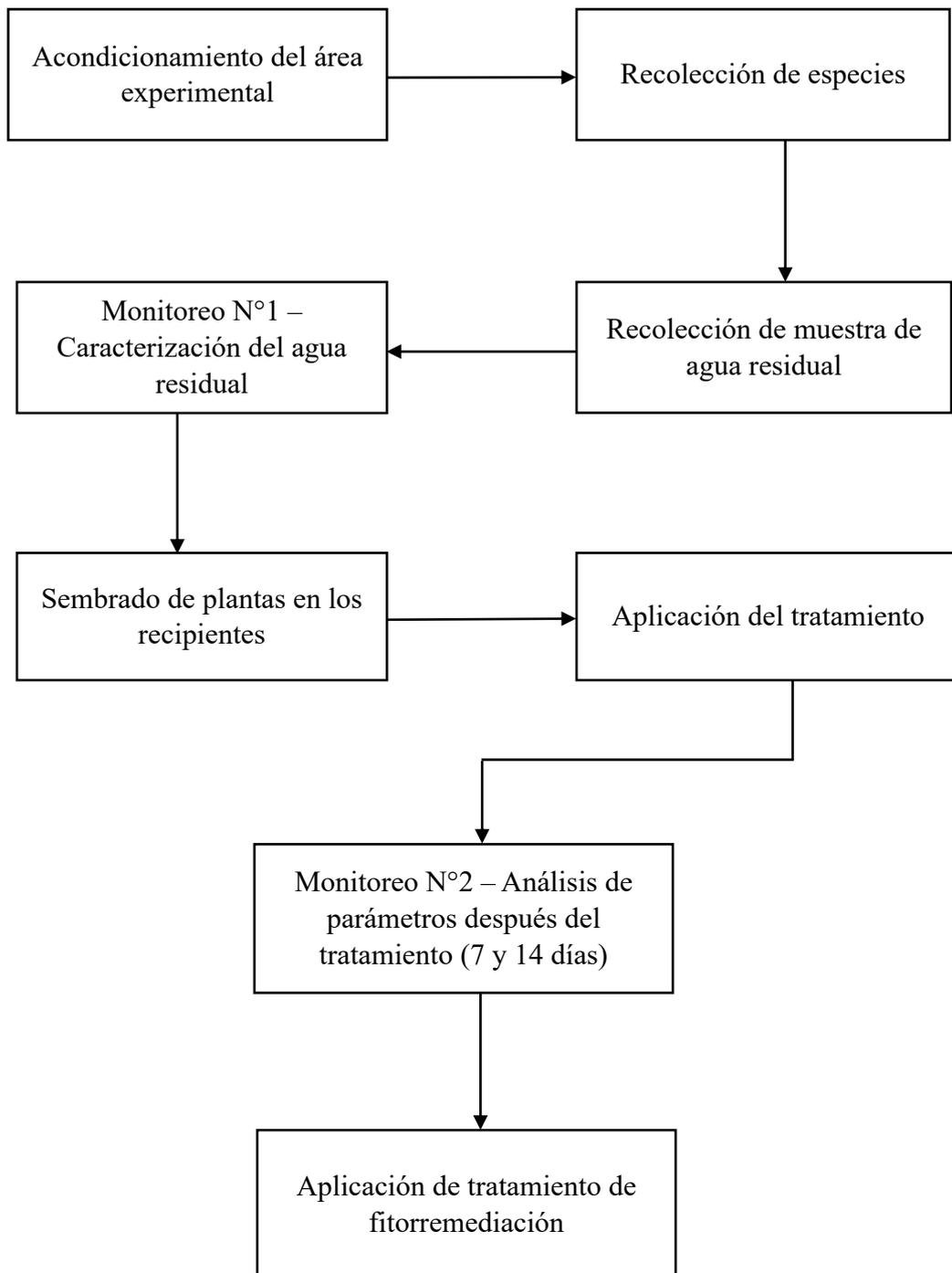


Figura 6. Diagrama de la conducción del experimento.

### 3.1.6.1. Etapas de la investigación

- **Etapa I: Acondicionamiento del área experimental**

El área experimental fue acondicionada en un espacio libre de un campo agrícola, cercana el área de derrames de los efluentes residuales del estudio. Dentro de esta área se colocarán los 7 recipientes (6 correspondiente a los tratamientos y 1 blanco experimental), cuya altura es de 35.5 cm y 28.5 cm de diámetro, correspondientes a las unidades experimental de la presente investigación.

- **Etapa II: Recolección de especies**

Las especies *Colocasia esculenta* y *Phragmites australis* fueron recolectadas de los campos de cultivo del centro poblado Huayán. Se recolectaron 12 unidades de cada especie de 80 a 100 cm de altura, donde se incluyeron unidades adicionales para realizar una selección de las que presenten un adecuado estado fitosanitario.

Las especies recolectadas fueron adaptadas al agua residual doméstica en 6 recipientes de 20 litros durante 7 días previos al inicio del tratamiento de fitorremediación.



*Figura 7.* Recolección de especies fitorremediadoras.

- **Etapa III: Recolección de las muestras del agua residual**

Se utilizó un balde 20 litros y un recipiente de 220 L previamente esterilizados para recolectar y homogeneizar la cantidad de 140 litros de agua residual domésticas del CC.PP. Huayán, que se empleó como muestra para el tratamiento de fitorremediación divididos en 7 baldes (recipiente) de 20 L.

- **Etapa IV: Monitoreo de parámetros (medición N°1)**

La medición N°1 corresponde al monitoreo de parámetros del agua residual doméstica sin tratamiento, es decir, estos resultados permitirán conocer el estado actual del efluente vertido por los hogares del centro poblado Huayán. Los datos de campo como el pH y la temperatura (°C) serán medidos dentro del campo experimental con el equipo de marca HANNA HI98108 previamente calibrado con soluciones buffer de pH 4 y 7.

Los datos para los Sólidos Suspendedos Totales (TSS), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Coliformes Termotolerantes (CTE) serán analizados en SGS PERÚ SAC, laboratorio acreditado por INACAL, cumpliendo previamente los protocolos de toma de muestra y transporte según las normativas establecidas por la entidad.



*Figura 8.* Recolección de muestra de agua residual doméstica.

- **Etapa V: Sembrado de las plantas**

Se agregó grava de 20 a 30 mm de diámetro en los recipientes, para luego sembrar las 2 unidades de planta fitorremediadora (*Colocasia esculenta* y *Phragmites australis*) por recipiente. Posteriormente al sembrado de la planta, se agregó el agua residual recolectada desde el punto de vertimiento del centro poblado Huayán – Huaral (Estación de monitoreo: “AR-EFL”).



Figura 9. Siembra de especies en los recipientes del tratamiento.

- **Etapa VI: Aplicación del tratamiento**

En el área experimental acondicionada ubicada en el centro poblado Huayán se tuvo 7 recipientes de forma cilíndrica (baldes), de los cuales 3 recipientes correspondieron al tratamiento con la especie *Colocasia esculenta* “pituca” (AR-T1), 3 con la especie *Phragmites australis* “carrizo” (AR-T2) y 1 correspondiente al blanco del experimento (AR-Ce).



Figura 10. Recipientes de tratamiento de agua residuales domésticas.

- **Etapa VII: Monitoreo de parámetros (medición N°2)**

Corresponde al monitoreo de los niveles de los efluentes residuales domésticos después de los 7 y 14 días de tratamiento con las especies fitorremediadoras (T1 y T2). Estos resultados permitirán comparar el estado inicial del agua residual (AR-EFL) con las muestras de agua tratada (T1 y T2). Los resultados de campo como el pH y la temperatura (°C) serán medidos in-situ con el equipo de marca HANNA HI98108 calibrado con soluciones buffer 4 y 7.

Los datos de los Sólidos Totales suspendidos (TSS), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Coliformes Termotolerantes (CTE) serán analizados en SGS PERÚ SAC, laboratorio acreditado por INACAL, cumpliendo previamente los protocolos de toma de muestra y transporte.



*Figura 11.* Toma de muestras de agua post fitorremediación.

- **Etapa VIII: Análisis de resultados**

Los resultados obtenidos en los monitoreos a nivel de campo y laboratorio antes del tratamiento (Estación “AR-EFL”) y después del tratamiento (“T1” y “T2”) fueron procesados mediante análisis estadísticos para posteriormente compararlas con las normativas nacionales. También, se hallaron los porcentajes de remoción o eficiencia de remoción de contaminantes utilizando fórmulas matemáticas.

### 3.2. Técnicas para el procesamiento de la información

- Se utilizará el programa Microsoft Excel 2019, cuya función será almacenar y ordenar los datos de monitoreo de agua conseguidos en el presente proyecto.
- Para analizar los valores se empleó el programa Minitab, mediante estadística inferencial, un análisis de varianza (ANOVA), Mann Whitney y la prueba de Dunnett con un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$ , para comprobar estadísticamente la diferencia que se encuentran de los tratamientos (T1 y T2) y el control experimental obtenido mediante el análisis del agua residual sin tratamiento (AR-EFL). Se utilizó los siguientes procedimientos:
  - ✓ Hipótesis a contrastar (Hipótesis nula “H0” e hipótesis alterna “H1”).
  - ✓ Identificación del nivel de significancia ( $\alpha=0.05$ , NC= 95%).
  - ✓ Regla de decisión (p-valor).
  - ✓ Resultados de la prueba de normalidad (Anderson Darling “AD”, p-valor).
  - ✓ Resultado estadístico.

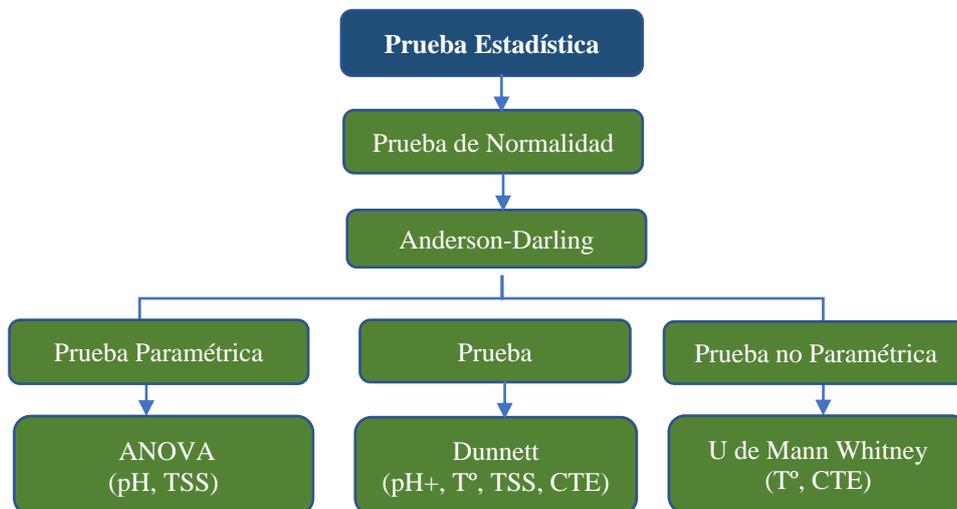


Figura 12. Diagrama de las pruebas estadísticas del proyecto.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de resultados

#### 4.1.1. Calidad del agua residual doméstica antes del tratamiento

Posteriormente a la recolección de muestras y análisis de la calidad del efluente residual doméstica recolectada directamente del punto de vertimiento se adquirieron los siguientes resultados que se visualizan en la Tabla 7.

*Tabla 7*

*Caracterización del efluente residual doméstica del CC.PP. Huayán*

Parámetro	Unidad	Valor obtenido	LMP	Comparación con LMP	ECA		Comparación con ECA
					R.N.R.	R. R	
pH	-	8,05	6,5 – 8,5	No excede	6,5 – 8,5	6,5 – 8,4	No excede
Temperatura	°C	17,4	< 35	No excede	Δ 3	Δ 3	No excede
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	29	150	No excede	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	< 2,6	100	No excede	15	15	No excede
Coliformes Termotolerantes (CTE)	NMP /100ml	220 000	10 000	Excede	1 000	2 000	Excede

**Nota.** La comparación de los resultados obtenidos (Estación “AR-EFL”) se realizó con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de efluentes Residuales Domésticas o Municipales y con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para efluentes de Categoría 3: Riego de vegetación restringidos (R.R.) y no restringidos (R.N.R.).

#### 4.1.2. Remoción de contaminantes mediante el T1 (*Colocasia esculenta*)

La remoción de los niveles de las variables de los Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y Coliformes Termotolerantes (CTE) con la especie *Colocasia esculenta* (T1) se obtuvieron mediante la fórmula matemática utilizada por Palta y Morales (2014):

##### 4.1.2.1. Remoción de TSS con *Colocasia esculenta* (T1) en el día 7 de tratamiento

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 29 mg/L

Valor promedio final = 4 mg/L

$$\% \text{ Remoción} = \frac{29 \text{ mg/L} - 4 \text{ mg/L}}{29 \text{ mg/L}} \times 100$$

% Remoción de Sólidos Totales en Suspensión con T1 en 7 días = 86,21 %

##### 4.1.2.2. Remoción de TSS con *Colocasia esculenta* (T1) en el día 14 de tratamiento

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 29 mg/L

Valor promedio final = 5 mg/L

$$\% \text{ Remoción} = \frac{29 \text{ mg/L} - 5 \text{ mg/L}}{29 \text{ mg/L}} \times 100$$

% Remoción de Sólidos Totales en Suspensión con el T1 en 14 días = 82,76 %

##### 4.1.2.3. Remoción de CTE con *Colocasia esculenta* (T1) en el día 7 de tratamiento

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 220 000 NMP/100ml

Valor promedio final = 2 100 NMP/100ml

$$\% \text{ Remoción} = \frac{220\ 000 \text{ NMP}/100\text{ml} - 2100 \text{ NMP}/100\text{ml}}{220\ 000 \text{ NMP}/100\text{ml}} \times 100$$

% Remoción de Coliformes Termotolerantes con T1 en 7 días = 99,05 %

#### **4.1.2.4. Remoción de CTE con *Colocasia esculenta* (T1) en el día 14 de tratamiento**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 220 000 NMP/100ml

Valor promedio final = 1 290 NMP/100ml

$$\% \text{ Remoción} = \frac{220\ 000 \text{ NMP}/100\text{ml} - 953,3 \text{ NMP}/100\text{ml}}{220\ 000 \text{ NMP}/100\text{ml}} \times 100$$

% Remoción de Coliformes Termotolerantes con T1 en 14 días = 99,57 %

#### **4.1.3. Remoción de contaminantes mediante el T2 (*Phragmites australis*)**

La remoción de los resultados de los niveles de Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y Coliformes Termotolerantes (CTE) con la especie *Phragmites australis* (T2) se obtuvieron mediante la fórmula matemática utilizada por Palta y Morales (2014):

##### **4.1.3.1. Remoción de TSS con *Phragmites australis* (T2) en el día 7 de tratamiento**

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 29 mg/L

Valor promedio final = 5,7 mg/L

$$\% \text{ Remoción} = \frac{29 \text{ mg/L} - 5,7 \text{ mg/L}}{29 \text{ mg/L}} \times 100$$

% Remoción de Sólidos Totales en Suspensión con el T2 en 7 días = 80,34 %

#### 4.1.3.2. Remoción de TSS con *Phragmites australis* (T2) en el día 14 de tratamiento

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 29 mg/L

Valor promedio final = 5,7 mg/L

$$\% \text{ Remoción} = \frac{29 \text{ mg/L} - 4,7 \text{ mg/L}}{29 \text{ mg/L}} \times 100$$

% Remoción de Sólidos Totales en Suspensión con T2 en 14 días = 83,79 %

#### 4.1.3.3. Remoción de CTE con *Phragmites australis* (T2) en el día 7 de tratamiento

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 220 000 NMP/100ml

Valor promedio final = 6 900 NMP/100ml

$$\% \text{ Remoción} = \frac{220\,000 \text{ NMP/100ml} - 6\,900 \text{ NMP/100ml}}{220\,000 \text{ NMP/100ml}} \times 100$$

% Remoción de Coliformes Termotolerantes con T2 en 7 días= 96,86 %

#### 4.1.3.4. Remoción de CTE con *Phragmites australis* (T2) en el día 14 de tratamiento

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100$$

Valor promedio inicial = 220 000 NMP/100ml

Valor promedio final = 1 290 NMP/100ml

$$\% \text{ Remoción} = \frac{220\,000 \text{ NMP/100ml} - 1\,290 \text{ NMP/100ml}}{220\,000 \text{ NMP/100ml}} \times 100$$

% Remoción de Sólidos Coliformes Termotolerantes con T2 en 14 días= 99,41 %

#### 4.1.3.5. Remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno con T1 y T2 en 7 y 14 días de tratamiento

No se pudo determinar la remoción de DBO debido a que los resultados emitidos por el laboratorio fueron menores que el límite de cuantificación (> 2,6) en las 3 fechas de monitoreo de los efluentes residuales domésticos.

Tabla 8

*Porcentajes de la eliminación de los tratamientos T1 y T2*

Parámetro	Día de tratamiento	Colocasia esculenta (T1)	Phragmites australis (T2)
Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	7	86,21 %	80,34 %
	14	82,76 %	83,79 %
Coliformes Termotolerantes (CTE)	7	99,05 %	96,86 %
	14	99,57 %	99,41 %

**Nota.** La tabla presenta los datos de eliminación de 2 contaminantes de los efluentes residual doméstica del centro poblado Huayán después de 7 y 14 días de tratamiento con T1 y T2 en comparación con el valor inicial medido directamente del punto de vertimiento previo al inicio de la etapa de fitorremediación.

#### 4.1.4. Comparación de tratamientos de fitorremediación de aguas residuales

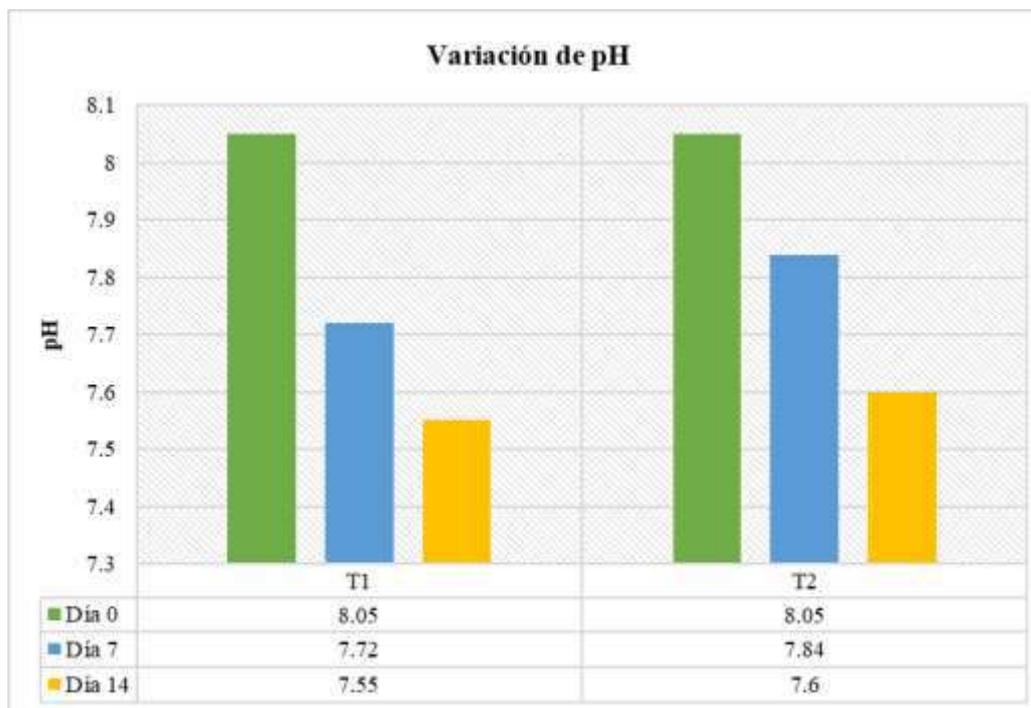


Figura 13. Variación del pH con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.

#### Descripción de la Figura 13

El parámetro fisicoquímico pH del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral muestreada directamente del punto de vertimiento (AR-EFL) fue de 8,5; posteriormente fue ingresada a 2 sistemas de tratamiento de fitorremediación con 2 especies diferentes. Con la especie *Colocasia esculenta* (T1) se redujo el valor del pH inicial a un valor promedio de 7,72 y 7,55 después de 7 y 14 días de tratamiento respectivamente, por otro lado, que con esta especie *Phragmites australis* (T2) se redujo a 7,84 y 7,6 después de 7 y 14 días de tratamiento de fitorremediación respectivamente mediante la retención hidráulica del agua residual doméstica.

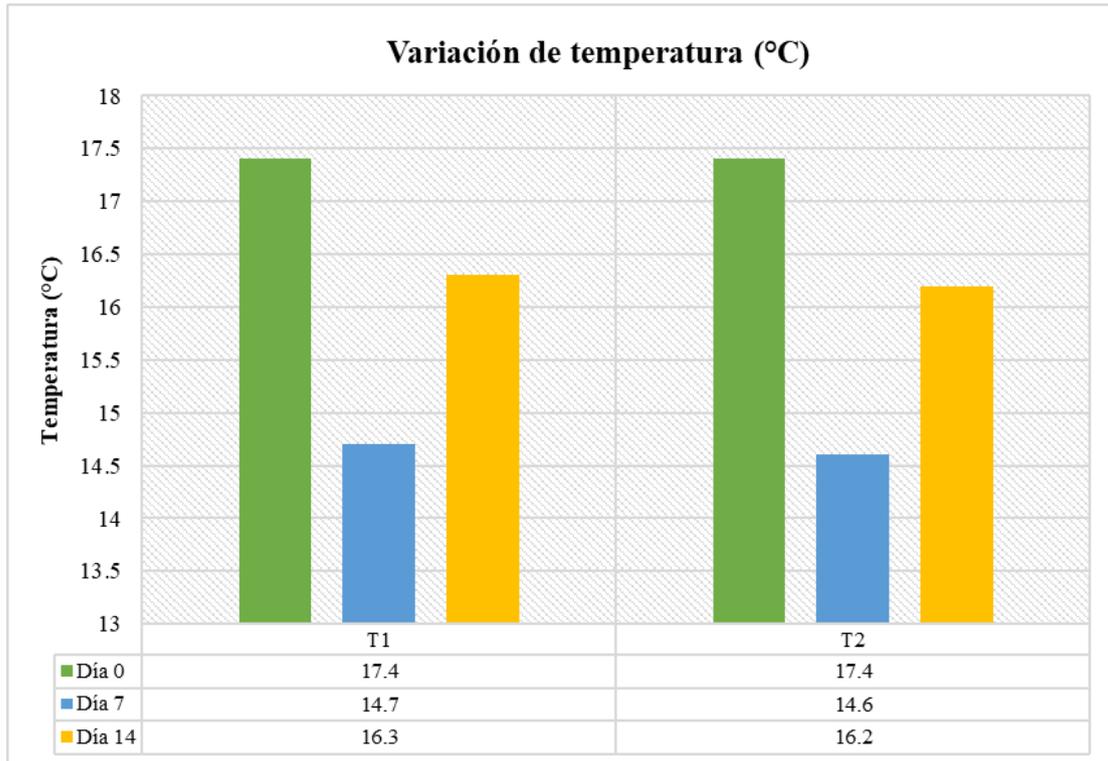


Figura 14. Variación de la temperatura con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.

#### Descripción de la Figura 14

El valor de temperatura del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral muestreada directamente del punto de vertimiento (AR-EFL) fue de 17,4°C; posteriormente fue ingresada a 2 sistemas de tratamiento de fitorremediación con 2 especies diferentes. Con la especie *Colocasia esculenta* (T1) se redujo el valor de la temperatura inicial a un valor promedio de 14,7°C después de 7 días de tratamiento, pero al día 14 incrementó a 16,3°C, siendo aún menor al valor inicial. Con la especie *Phragmites australis* (T2) se redujo la temperatura a 14,6°C y al día 14 se incrementó a 16,2°C, sin superar igualmente al valor inicial del agua residual doméstica.

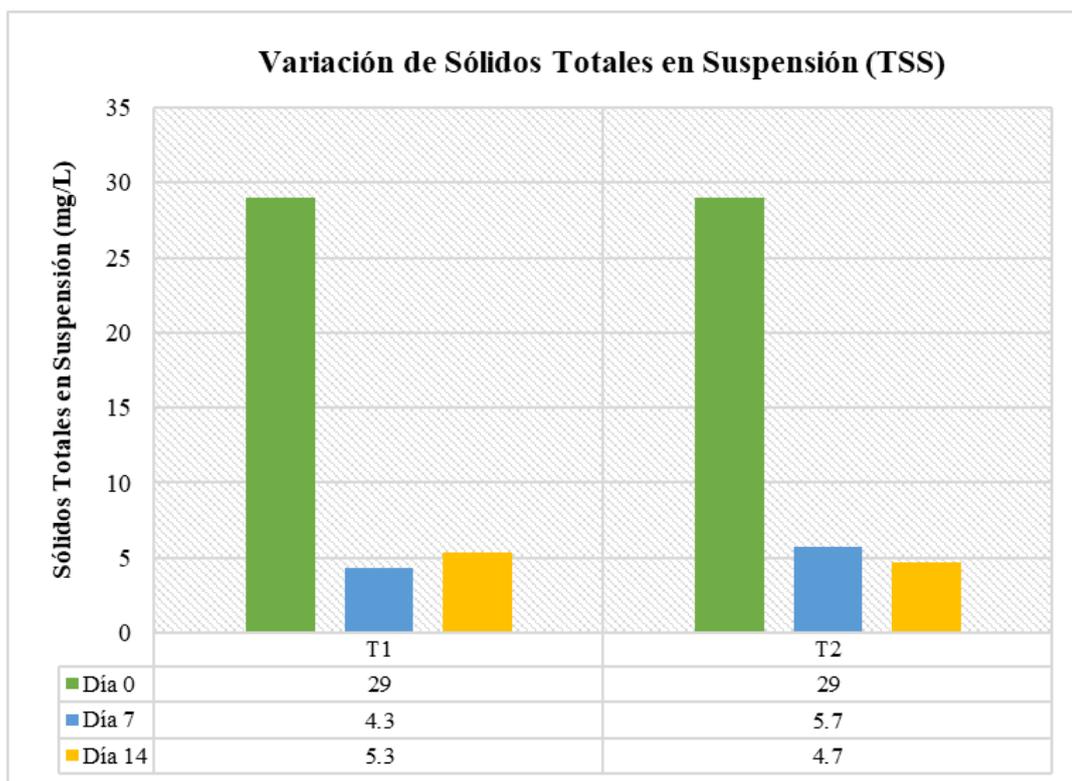
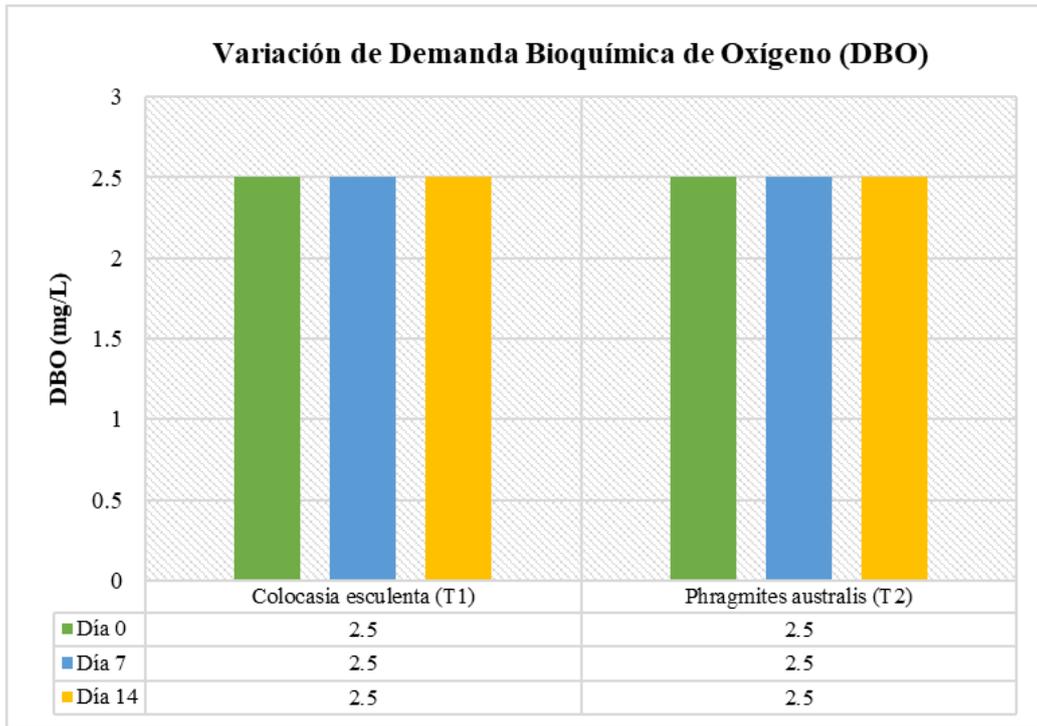


Figura 15. Variación de TSS con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.

### Descripción de la Figura 15

El parámetro fisicoquímico Sólidos Totales en Suspensión (TSS) del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral muestreada directamente del punto de vertimiento (AR-EFL) fue de 29 mg/L; posteriormente fue ingresada a 2 sistemas de tratamiento de fitorremediación con 2 especies diferentes. Con la especie *Colocasia esculenta* (T1) se redujo el valor del TSS inicial después de 7 días de tratamiento a un valor promedio de 4,3 mg/L, pero al día 14 se incrementó ligeramente a 5,3 mg/L, siendo aun ampliamente menor al valor inicial. Con la especie *Phragmites australis* (T2), a diferencia del T1, la reducción fue continua en los 2 días donde el valor de TSS fue de 5,7mg/L y 4,7mg/L a los 7 y 14 días de tratamiento de fitorremediación.



*Figura 16.* Variación de la DBO con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.

### **Descripción de la Figura 16**

El parámetro de DBO del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral muestreada directamente del punto de vertimiento (AR-EFL) no tuvo variación con respecto a los 2 tratamientos de fitorremediación (T1 y T2). Los resultados entregados por el Laboratorio SGS del Perú evidencian que los valores de la DBO en todos los muestreos tienen valores menores al límite de cuantificación (< 2,6 mg/L).

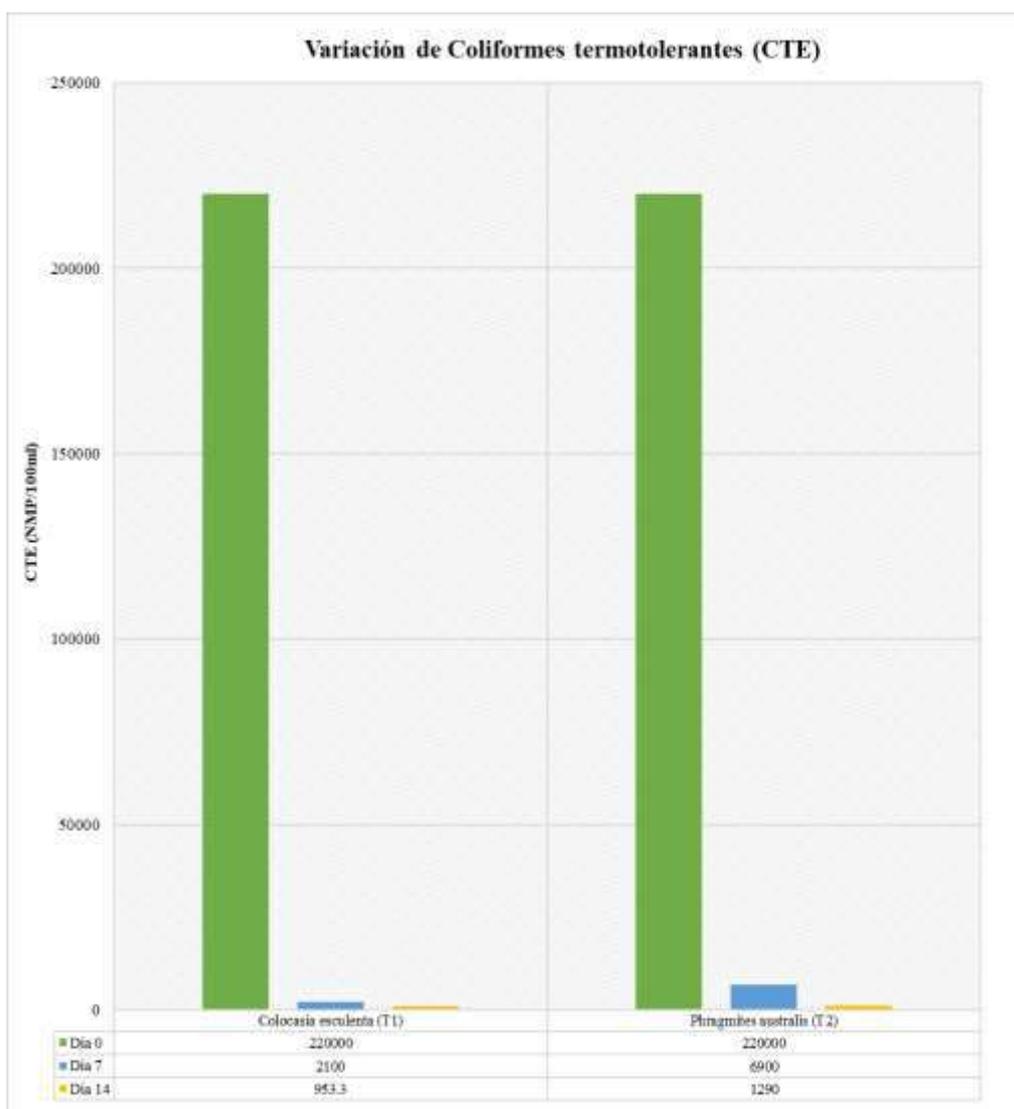


Figura 17. Variación de CTE con el tratamiento 1 y 2 después de 7 y 14 días.

### Descripción de la Figura 17

El parámetro microbiológico de Coliformes Termotolerantes (CTE) del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral muestreada directamente del punto de vertimiento (AR-EFL) fue de 220 000 NMP/100ml. Con la especie *Colocasia esculenta* (T1) se redujo ampliamente el valor del CTE a un promedio de 2100 y 953 NMP/100ml después de 7 y 14 días de tratamiento respectivamente, por otro lado, con la especie *P. australis* (T2) se redujo a un valor promedio de 6900 y 1290 NMP/100ml después de 7 y 14 días de tratamiento de fitorremediación respectivamente mediante la retención hidráulica con fitorremediación del agua residual doméstica.

## 4.2. Contratación de hipótesis

### 4.2.1. Contratación de la hipótesis general

**Hipótesis específica 1:** La especie *Phragmites australis* “carrizo” tendrá mayor eficiencia de remoción de contaminantes que la especie *Colocasia esculenta* “pituca” para el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Huayán-Huaral.

- ✓ **Variable de estudio:** Eficiencia del tratamiento
- ✓ **Factor:** Tratamientos (T1, T2)
- ✓ **Variable de respuesta:** pH, T°, TSS, CTE.

Tabla 9

*Factores y variables de respuesta del experimento*

FACTOR Tratamientos	Variables de respuesta				
	pH	T°	TSS	DBO	CTE
AR-EFL	8.05	17,4	29	2.5	220000
AR-T1-R1- t1	7,76	14,7	6	2,5	2300
AR-T1-R1- t2	7,59	16,3	8	2,5	2200
AR-T1-R2- t1	7,52	14,6	4	2,5	2300
AR-T1-R2- t2	7,4	16,2	5	2,5	330
AR-T1-R3- t1	7,88	14,7	2	2,5	1700
AR-T2-R3- t2	7,67	16,3	2	2,5	330
AR-T2-R1- t1	7,49	14,7	4	2,5	13000
AR-T2-R1- t2	7,35	16,3	4	2,5	790
AR-T2-R2- t1	7,87	14,6	7	2,5	2800
AR-T2-R2- t2	7,53	16,1	6	2,5	2800
AR-T2-R3- t1	8,17	14,6	6	2,5	4900
AR-T2-R3- t2	7,92	16,2	4	2.5	280

**Nota.** Los valores de la presenta tabla fueron ingresados al programa Minitab 20 para ejecutar el análisis estadístico de los datos.

### 4.2.1.1. Prueba de Normalidad

#### Análisis estadístico del parámetro pH+

##### A. Hipótesis:

- **H<sub>0</sub>:** Los errores tienen distribución normal
- **H<sub>1</sub>:** Los errores no tienen distribución normal

##### B. Nivel de significancia:

- $\alpha = 0,05$  (NC = 95%)

##### C. Regla de decisión:

- **p-valor > 0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor < 0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

##### D. Estadístico de prueba:

- **A.D** = 0,189
- **p-valor** = 0,876

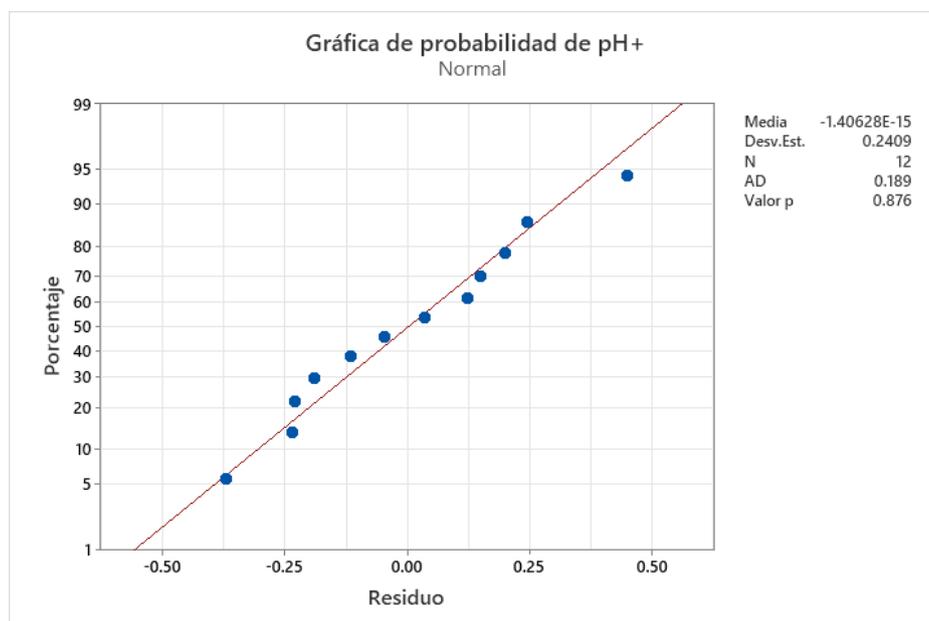


Figura 18. Gráfica de probabilidad de los datos del pH+ con Minitab.

**E. Resultado estadístico:** Con un valor de significancia del 5%, podemos concluir que los resultados adquiridos tienen distribución normal, por ende, se empleará la prueba paramétrica ANOVA.

## Análisis estadístico del parámetro Temperatura (T)

### A. Hipótesis:

- $H_0$ : Los errores tienen distribución normal.
- $H_1$ : Los errores no tienen distribución normal.

### B. Nivel de significancia:

- $\alpha = 0,05$  (NC=95%)

### C. Regla de decisión:

- **p-valor > 0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor < 0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

### D. Estadístico de prueba (Temperatura)

- **A.D** = 1,603
- **p-valor** = < 0,005

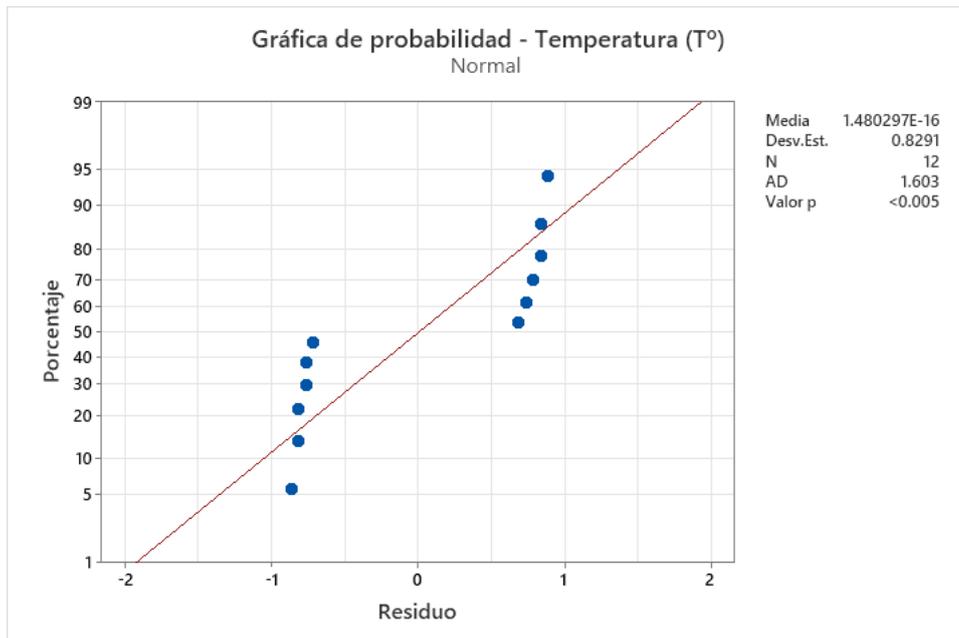


Figura 19. Gráfica de probabilidad de los niveles de la temperatura con Minitab.

**E. Resultado estadístico:** Con un valor de significancia del 5%, se puede concluir que los valores no tienen una distribución normal, por ende, se realizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

## Análisis estadístico del parámetro Sólidos Totales en Suspensión (TSS)

### A. Hipótesis:

- $H_0$ : Los tienen distribución normal.
- $H_1$ : Los errores no tienen distribución normal.

### B. Nivel de significancia:

- $\alpha = 0,05$  (NC=95%)

### C. Regla de decisión:

- **p-valor > 0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor < 0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

### D. Estadístico de prueba:

- **AD** = 0.265
- **p-valor** = 0.626

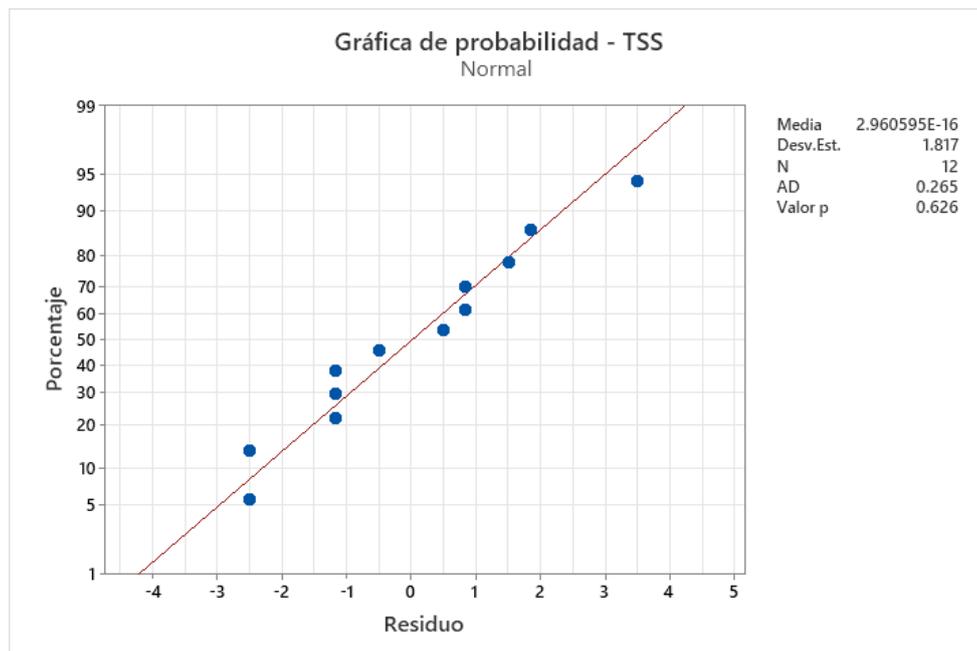


Figura 20. Gráfica de probabilidad de los datos del TSS con Minitab.

**E. Resultado estadístico:** Con un valor de significancia del 5%, podemos concluir que los datos tienen distribución normal, por ende, se empleó la prueba paramétrica ANOVA.

## Análisis estadístico del parámetro Coliformes Termotolerantes (CTE)

### A. Hipótesis:

- **H<sub>0</sub>**: Los errores tienen distribución normal
- **H<sub>1</sub>**: Los errores no tienen distribución normal

### B. Nivel de significancia:

- $\alpha = 0,05$  (NC=95%)

### C. Regla de decisión:

- **p-valor > 0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor < 0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

### D. Estadístico de prueba:

- **AD** = 1,051
- **p-valor** = 0.006

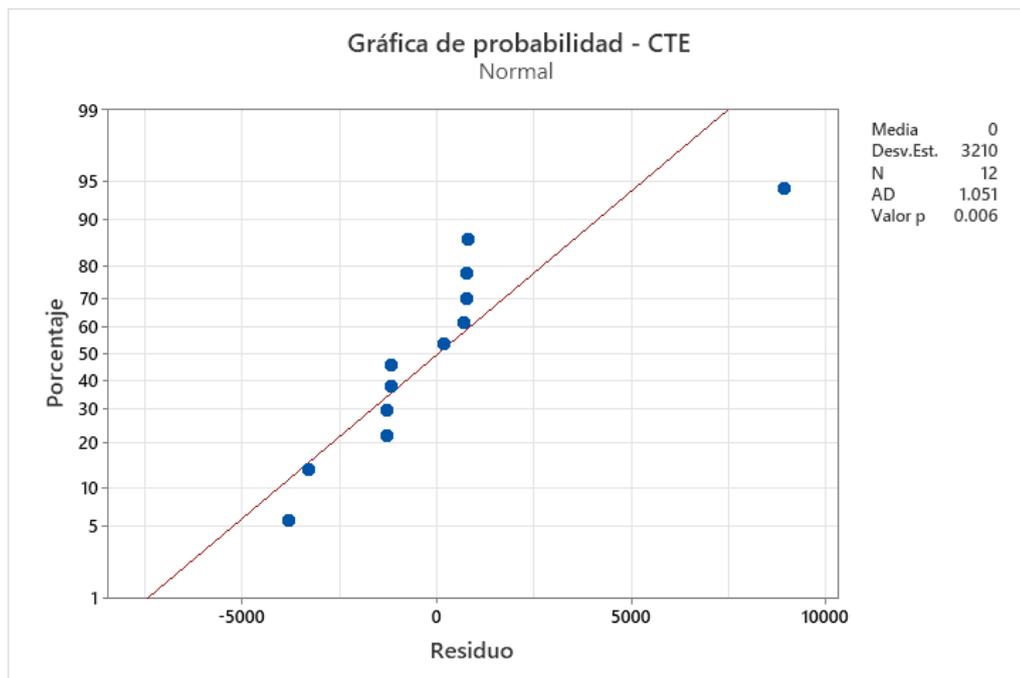


Figura 21. Gráfica de probabilidad de los datos de CTE con Minitab.

**E. Resultado estadístico:** Con unos datos de significancia del 5%, concluimos que los errores encontrados no tienen una distribución normal, por ende, se realizó la prueba no paramétrica U de Mann-Whitney.

#### 4.2.1.2. Comparación de la eficiencia del tratamiento: Prueba ANOVA

##### A. Hipótesis:

- **H<sub>0</sub>**: No existe diferencia entre grupos (eficiencia similar).
- **H<sub>1</sub>**: Existe diferencia entre grupos (mayor eficiencia).

##### B. Nivel de significancia:

- $\alpha = 0,05$  (NC=95%)

##### C. Estadístico de prueba:

###### a) pH

##### ANOVA:

- **p-valor** = 0,351
- **F** = 1,16

##### Regla de decisión:

- **p-valor** > **0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor** < **0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 10

*Análisis de Varianza de los datos del parámetro de pH*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	0,1486	0,07431	1,16	0,351
Error	10	0,6382	0,06382		
Total	12	0,7868			

Tabla 11

*Cálculo de medias de los tratamientos - pH*

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Control (0)	1	8,050	*	(7,487; 8,613)
<i>Colocasia esculenta</i> (T1)	6	7,6367	0,1717	(7,4069; 7,8665)
<i>Phragmites australis</i> (T2)	6	7,722	0,313	(7,492; 7,951)

**D. Resultado estadístico:** Con una significancia del 5%, tal como se visualiza en la Tabla 10, el p-valor obtenido con el análisis de varianzas (ANOVA) es de  $0,351 > 0,05$ , es decir, podemos concluir que no tiene diferencias significativas entre los tratamientos realizados (T1 y T2) ya que ambos son eficientes para normalizar el valor de pH.

Tabla 12

*Agrupación de información con el método de Dunnett - pH*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control (0) (control)	1	8,050	A
T2	6	7,722	A
T1	6	7,6367	A

**Nota.** Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control. Confianza de 95%.

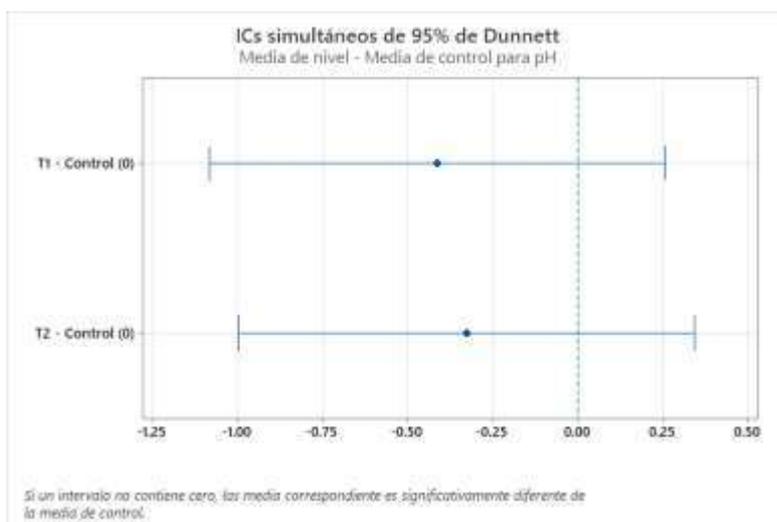


Figura 22. ICs simultáneos de Dunnett para pH.

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5%, tal como podemos observar en la Tabla 12 y la Figura 22, aplicando la prueba de Dunnett que considera al grupo control las medias obtenidas para el T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre ellos (T1=7,722 y T2=7,6367). Además, ambos valores no presentan diferencias significativas con el grupo control cuya media es 8,050. Teniendo en cuenta que los 3 valores se encuentran dentro de los valores planteados en el ECA para efluentes para Riego y los LMP para Efluentes de Plantas de Tratamiento de efluentes Residuales Domésticos o efluentes de las Municipalidades, se concluye que ambos tratamientos tienen valores eficientes para optimizar el valor del pH en aguas residuales. El T1 fue más eficiente en reducir el valor de pH que el T2.

#### b) Sólidos Totales en Suspensión (TSS)

##### ANOVA:

- **p-valor** = 0,000
- **F** = 74,37

##### Regla de decisión:

- **p-valor** > **0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor** < **0,05** = se rechaza la hipótesis nula

Tabla 13

*Análisis de Varianza de los datos del parámetro de TSS*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	2	540,44	270,218	74,37	0,000
Error	10	36,33	3,633		
Total	12	576,77			

Tabla 14

*Cálculo de medias de los tratamientos – parámetro TSS*

Tratamiento	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
Control (0)	1	29,00	*	(24,75; 33,25)
Colocasia esculenta (T1)	6	4,500	2,345	(2,766; 6,234)
Phragmites australis (T2)	6	5,167	1,329	(3,433; 6,901)

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5%, tal como se visualiza en la Tabla 13, el p-valor obtenido con el análisis de varianzas (ANOVA) es de  $0,000 < 0,05$ , es decir, podemos concluir que si existe diferencias significativas entre los tratamientos (T1 y T2) y el control (0) ya que la remoción de TSS de los efluentes residuales doméstica redujo significativamente el valor inicial del parámetro.

Tabla 15

*Agrupación de información con el método de Dunnett – TSS*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control (0)	1	29,00	A
T1	6	5,167	
T2	6	4,500	

**Nota.** Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control. Confianza de 95%.

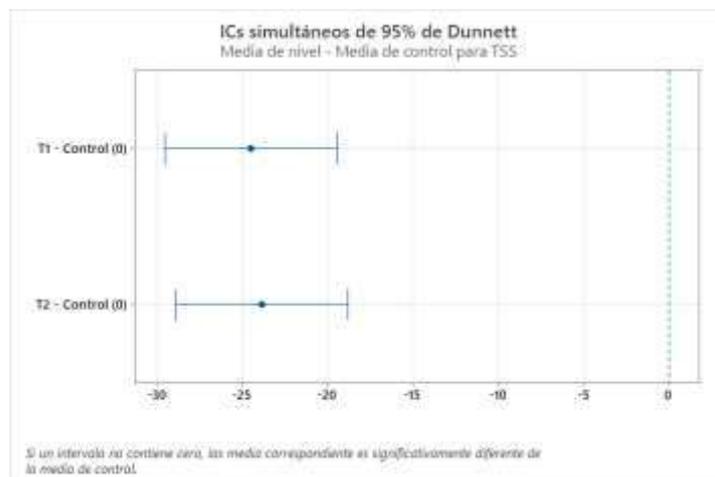


Figura 23. ICs simultáneos de Dunnett para TSS.

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5%, tal como se obtuvo en la Tabla 15 y Figura 23, aplicando la prueba de Dunnett que considera al grupo control las medias obtenidas para el T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre ellos  $T1=7,722$  y  $T2=7,6367$ . Además, ambos valores presentan diferencias significativas con el grupo control cuya media es 8,050. Teniendo en cuenta que los 3 valores se encuentran dentro de los ECA y LMP, se concluye que ambos tratamientos son eficientes para optimizar el valor del pH en aguas residuales. El T1 fue más eficiente en remover los TSS que el T2.

#### 4.2.1.3. Prueba no paramétrica: U de Mann-Whitney

##### a) Temperatura ( $T^{\circ}$ )

###### **Hipótesis:**

- **H<sub>0</sub>:** No existe diferencia estadísticamente significativa entre la mediana de los tratamientos (T1 y T2).
- **H<sub>1</sub>:** Existe diferencia estadísticamente significativa entre la mediana de los tratamientos (T1 y T2).

###### **Nivel de significancia:**

- $\alpha = 0,05$  (NC=95%)

###### **Regla de decisión:**

- **p-valor > 0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor < 0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

###### **Método:**

- $\eta_1$ : mediana de T1
- $\eta_2$ : mediana de T2
- Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

Tabla 16

*Estadística descriptiva - prueba de Mann-Whitney de los datos de temperatura.*

Muestra	N	Mediana
T1	6	15,45
T2	6	15,40

**Nota:** Los resultados indican que no existe diferencias significativas entre las medianas de los 6 valores procesados del T1 y T2 obtenidas con el software Minitab.

Tabla 17

*Resultado de la prueba de Mann-Whitney para los valores de temperatura.*

Método	Valor W	Valor p
No ajustado para empates	42,50	0,631
Ajustado para empates	42,50	0,623

**Nota.** Se utilizó el valor p del método ajustado para empates por ser el valor más exacto que otorga el software Minitab. El intervalo de confianza logrado es de 95,47%.

**ANOVA:**

- Estadístico W = 42,5
- Valor p = 0,623

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5% empleado en la prueba de Mann-Whitney para valores que no son paramétricos se observa que el valor p es de  $0,623 > 0,05$ , por ende, se da por concluido que no existe desigualdad estadísticamente importante entre la mediana de los tratamientos (T1 y T2).

Tabla 18

Agrupación de información con el método de Dunnett – temperatura ( $T^{\circ}$ )

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Control (0)	1	17,40	A
T1	6	15,467	A
T2	6	15,417	A

*Nota.* Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control. Confianza de 95%.

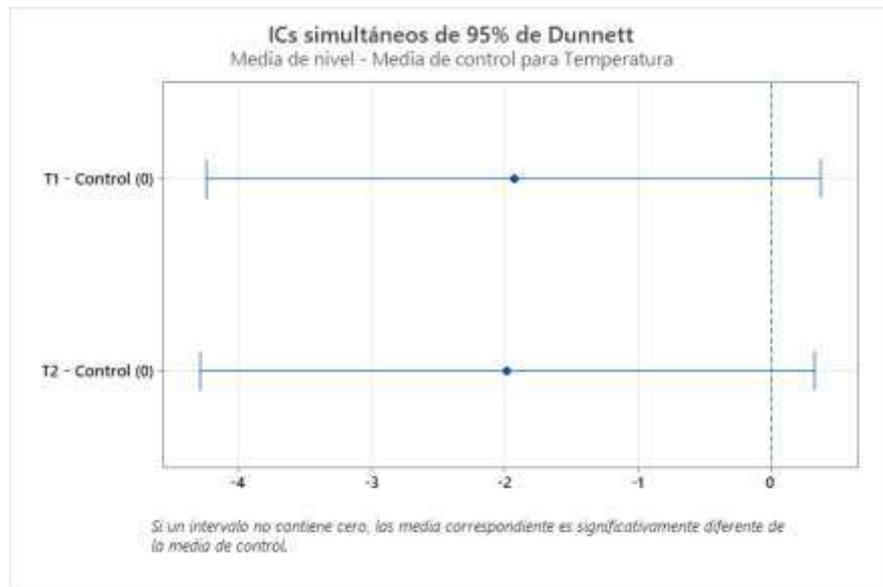


Figura 24. ICs simultáneos de Dunnett para temperatura.

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5%, tal como se observa en la Tabla 18 y Figura 24, aplicando la prueba de Dunnett que considera al grupo control las medias obtenidas para el T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre ellos  $T1= 15,467$  y  $T2=15,417$ . Además, ambos valores no presentan diferencias significativas con el grupo control cuya media es 17,40. Teniendo en cuenta que los 3 valores se encuentran dentro de los ECA y LMP, se concluye que ambos tratamientos son eficientes para optimizar el valor de la temperatura en aguas residuales. El T2 fue más eficiente que el T1.

## b) Coliformes Termotolerantes (CTE)

### Hipótesis:

- **H<sub>0</sub>**: No existe diferencia significativa entre los tratamientos (T1 y T2).
- **H<sub>1</sub>**: Existe diferencia entre significativa entre los tratamientos (T1 y T2).

### Nivel de significancia:

- $\alpha = 0,05$  (NC=95%)

### Regla de decisión:

- **p-valor > 0,05** = No se rechaza la hipótesis nula.
- **p-valor < 0,05** = Se rechaza la hipótesis nula.

### Método:

- $\eta_1$ : mediana de T1
- $\eta_2$ : mediana de T2
- Diferencia:  $\eta_1 - \eta_2$

Tabla 19

*Estadística descriptiva - prueba de Mann-Whitney de los datos de CTE*

Muestra	N	Mediana
T1	6	1950
T2	6	2800

Tabla 20

*Resultado de la prueba de Mann-Whitney para los datos de CTE*

<b>Método</b>	<b>Valor W</b>	<b>Valor p</b>
No ajustado para empates	31,00	0,230
Ajustado para empates	31,00	0,227

**Nota.** Se utilizó el valor p del método ajustado para empates por ser el valor más exacto que otorga el software Minitab.

**ANOVA:**

- Estadístico W = 31,00
- Valor p = 0,230

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5% empleado en la prueba de Mann-Whitney para valores no paramétricos se observa que el valor p es de 0,227, siendo de esta manera mayor que  $\alpha=0,05$ , por ende, podemos concluir que no existe una desigualdad estadísticamente importante entre la mediana de los tratamientos (T1 y T2).

Tabla 21

*Agrupación de información con el método de Dunnett – CTE*

<b>Tratamiento</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Agrupación</b>
Control (0)	1	220000	A
T1	6	4095	
T2	6	1527	

**Nota.** Las medias no etiquetadas con la letra A son significativamente diferentes de la media del nivel de control. Confianza de 95%.

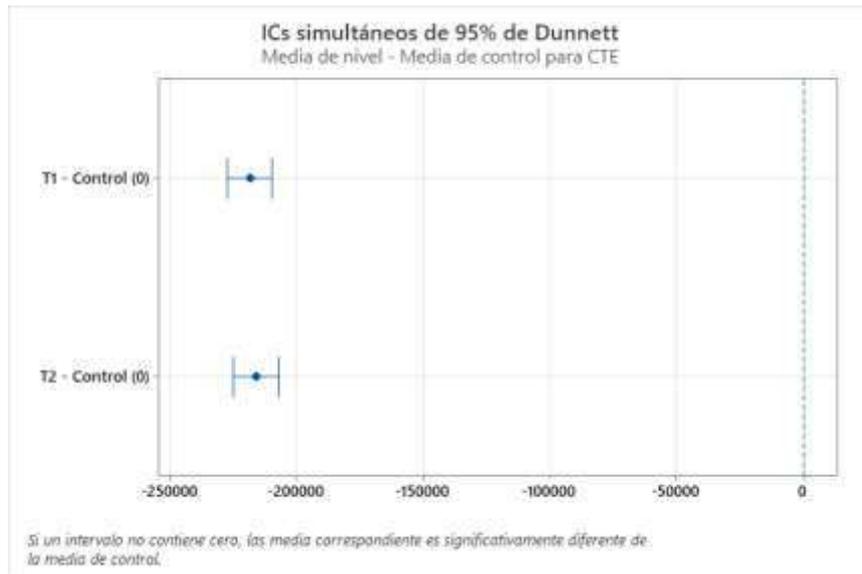


Figura 25. ICs simultáneos de Dunnett para CTE.

**Resultado estadístico:** Con una significancia del 5%, tal como se aprecia en la Tabla 21 y Figura 25, aplicando la prueba de Dunnett que considera al grupo control las medias obtenidas para el T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre ellos  $T1=7,722$  y  $T2=7,6367$ . Además, ambos valores presentan diferencias significativas con el grupo control cuya media es 8,050. Teniendo en cuenta que los 3 valores se encuentran dentro de los ECA y LMP, se concluye que ambos tratamientos son eficientes para optimizar el valor del pH en aguas residuales. El T1 fue más eficiente en remover CTE que el T2.

#### 4.2.2. Contrastación de la hipótesis específica 1

**Hipótesis específica 1:** La concentración inicial de los parámetros del agua residual doméstica del centro poblado Huayán excederán los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM y el ECA del D.S. N°004-2017-MINAM de Categoría 3: Riego de material Vegetal y como bebida para los animales.

#### Fundamentación:

Según la Tabla 7, la concentración de los parámetros del efluentes residuales domésticos (pH, temperatura, Sólidos Totales en Suspensión y Demanda Bioquímica de Oxígeno) del centro poblado Huayán, previo a los tratamientos, no exceden los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de las Plantas de Tratamiento de efluentes Residuales Domésticos o de los Municipios (D.S. N°003-2010-MINAM)

y el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N°004-2017-MINAM de Categoría 3: Riego de materia vegetal y para la bebida de los animales). Sin embargo, el dato para Coliformes Termotolerantes (CTE), que presentó una concentración de 220 000 NMP/100ml de agua residual doméstica, cuyo valor excede ampliamente lo establecido por el LMP (10000 NMP/100ml) y el ECA (2000 NMP/100ml de riego restringido y 1000 NMP/100ml para riego no restringido).

#### **4.2.3. Contrastación de la hipótesis específica 2**

**Hipótesis específica 2:** Los porcentajes de remoción de contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán con la especie *Colocasia esculenta* “pituca” serán mayores o iguales al 50%.

##### **Fundamentación**

Analizando la Tabla 8:

- Los niveles de supresión de contaminantes para los efluentes residuales como los Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y Coliformes Termotolerantes (CTE) después de los 7 y 14 días de tratamiento con la especie *Colocasia esculenta* “pituca” fueron mayores al 50%.
- La eliminación de los Sólidos Totales en Suspensión (TSS) con el tratamiento N°1 a los 7 y 14 días de tratamiento fueron del 86,21% y 82,76% respectivamente, mientras que del parámetro Coliformes Termotolerantes (CTE) fueron de 99,05% y 99,57% respectivamente.

#### **4.2.3. Contrastación de la hipótesis específica 3**

**Hipótesis específica 3:** Los porcentajes de remoción de contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán con la especie vegetal *P. australis* “carrizo” serán mayores o iguales al 50%.

## **Fundamentación**

Analizando la Tabla 8:

- Los niveles de eliminación de los contaminantes de efluentes residuales como los Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y Coliformes Termotolerantes (CTE) después de 7 y 14 días de tratamiento con la especie vegetal *P. australis* “carrizo” fueron mayores al 50%.
- La eliminación de los Sólidos Totales en Suspensión (TSS) con el tratamiento N°2 a los 7 y 14 días de tratamiento fueron del 80,34% y 83,79% respectivamente, mientras que del parámetro Coliformes Termotolerantes (CTE) fueron de 96,86% y 99,41% respectivamente.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### 5.1. Discusión de resultados

- El tratamiento de los efluentes residuales domésticos, en esta tesis de investigación, se realizó mediante la técnica de fitorremediación, la cual consiste en emplear especies de plantas con propiedades de depuración de contaminantes para reducir el impacto ambiental negativo que produciría al entrar en contacto con los cuerpos de agua receptores. Esta investigación concuerda con el trabajo realizado por Carhuaricra (2019) que diseñó un humedal artificial a escala experimental con el objetivo de tratar el agua residual doméstica de la localidad de Pacaypampa-Huánuco, en la cual empleó especies fitorremediadoras acuáticas como la *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes*; al finalizar las etapas de tratamiento obtuvo resultados eficientes con valores que no excedían los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento y en tramos de tiempo menor a los sistemas de tratamiento convencionales que requieren mayor presupuesto económico para su funcionamiento y mantenimiento.
- El pH del agua residual doméstica del CC.PP. Huayán previo a los tratamientos fue de 8,05 (ligeramente alcalino); después 7 y 14 días de tratamiento con la especie *Colocasia esculenta* el pH se redujo a un promedio de 7,72 y 7,55 respectivamente, y con la especie *Phragmites australis* se redujo a 7,84 y 7,60 respectivamente, en ambos casos se aprecia la tendencia constante de neutralizarse o acidificarse ligeramente para crear un ambiente ideal de desarrollo de las especies y microorganismos. Lo mencionado, presenta relación con la investigación realizada por Ramírez (2018), quien diseñó sistemas pilotos para tratamiento de efluentes residuales domésticos sintéticas (simulación) con un pH inicial de 7,08, que luego de insertar 3 tipos de especies fitorremediadoras observó que el promedio del pH en el recipiente con *Cyperus alternifolius* (papiros japones) fue de 6,62; con el *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver) se redujo a 6,48 y con el *Pennisetum purpureum* (Elefanta) el pH se redujo a un valor promedio de 6,71; lo cual le permitió concluir que la tendencia de acidificación que presenta de este parámetro es a consecuencia de 2 eventos, la primera por aquellos productos ácidos generados por la acción de los microorganismos durante la degradación del material orgánico presente en los efluentes residuales y la segunda a causa de las sustancias segregadas por las especies vegetales a través de sus raíces que presente un pH ácido.

- Solano (2019) en su investigación experimental donde trató aguas residuales del dren 4000 de la ciudad de Chiclayo, empleó las especies macrófitas *P. stratiotes* y *A. filiculoides* en dos sistemas de prueba con 50 litros de agua residual durante 7, 14 y 21 días de tratamiento con toma de muestras para comprobar la eficiencia y el tiempo óptimo de tratamiento, logrando concluir al finalizar su investigación que los días donde se logra la máxima eliminación de parámetros como la Turbidez, Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) fueron entre los días 14 y 21 de la etapa de experimental, la cual presente relación con la variable tiempo del presente trabajo de investigación donde los días de tratamiento empleados en la investigación fueron de 7 y 14 días después del sembrado de las especies *Colocasia esculenta* y *Phragmites australis* en los recipientes que contenían 20 litros de agua residual doméstica del CC.PP. Huayán-Huaral, que al finalizar la etapa de análisis de resultados se concluyó que en el caso del parámetro Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y Coliformes Termotolerantes (CTE) tuvieron mayores porcentajes de remoción después de 14 días de tratamiento, a excepción única del tratamiento con la especie *Colocasia esculenta* que en el día 7 de tratamiento logró la máxima remoción del parámetro TSS de los efluentes residuales domésticos.
- Los niveles máximos de remoción del parámetro Coliformes Termotolerantes (CTE) del agua residual doméstica del CC.PP. Huayán con la especie *Phragmites australis* “carrizo” fue de 99,41% al día 14 de tratamiento, sin embargo, en el trabajo de investigación de Rosas (2018) la máxima remoción fue de 98,64% para el tratamiento de agua de canal de regadío al día 9 de tratamiento empleando la misma especie fitorremediadora.
- El tipo de Reactor Anaerobio y con un Filtro de Flujo de manera Vertical Inverso diseñado por Dionisio (2012) para tratar el agua contaminada de un canal logró un 96,14% de eliminación de los niveles de Coliformes Termotolerantes en los sistemas de tratamiento que tuvieron presencia de la especie *Colocasia esculenta* con caudales mínimos de 0,5 y 1 ml/s; asimismo el máximo porcentaje de remoción del parámetro Sólidos Totales en Suspensión fue de 70,30% en presencia de la misma especie; estos resultados tienen semejanza al presente trabajo de investigación donde el tratamiento del agua residual doméstica del CC.PP. Huayán-Huaral empleando la especie *Colocasia esculenta* (T1) produjo mejores resultados de remoción en el parámetro Coliformes Termotolerantes que el parámetro Sólidos Totales en Suspensión, con porcentajes máximos de 99,57% y 86,21% respectivamente.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- La especie *Colocasia esculenta* fue la más eficiente de los 2 tratamientos, logrando porcentajes de remoción del parámetro Sólidos Totales en Suspensión (TSS) del 86,21 % al día 7 de tratamiento y del 82,76 % al día 14 de tratamiento mediante fitorremediación por estancamiento del agua residual doméstica; en ambos días no excedieron los LMP. En el caso del parámetro Coliformes termotolerantes (CTE) los porcentajes de remoción al día 7 de tratamiento fue de 99,05 % (Las concentraciones no excedían el LMP, pero sí superaban el ECA para efluentes de Categoría 3) y al día 14 del 99,57 % (La concentración no excedía el LMP y el ECA para efluentes de Categoría 3).
- Los resultados del análisis de agua residual doméstica del centro poblado Huayán en la estación de monitoreo AR-EFL (punto de vertimiento), evidenció que los parámetros pH, temperatura (T°), Sólidos Totales en Suspensión (TSS) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) no exceden los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento de efluentes Residuales Domésticas y de los Municipios (D.S. N° 003-2010-MINAM) y el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 004-2010-MINAM); caso contrario sucedió con el parámetro Coliformes Termotolerantes (CTE) que excedió ampliamente la concentración del LMP.
- Tras la utilización de las pruebas estadísticas de ANOVA y Dunnett para valores paramétricos y Mann-Whitney para valores no paramétricos con un nivel de confianza del 95% en el trabajo se concluye que no existe diferencia significativa entre los tratamientos de fitorremediación de aguas residuales domésticas empleando las especies *Colocasia esculenta* “pituca” (T1) y *Phragmites australis* “carrizo” (T2), ya que ambas especies presentan similar eficiencia para remover los contaminantes (TSS y coliformes termotolerantes), no presentando variaciones en las concentraciones de DBO y evidenciando un comportamiento normal de las variables intervinientes (T, pH).
- La especie fitorremediadora *Phragmites australis* logró porcentajes de remoción del parámetro Sólidos Totales en Suspensión (TSS) del 80,34 % al día 7 de tratamiento y del 83,79 % al día 14 de tratamiento de fitorremediación; en ambos días las concentraciones no excedieron los LMP. En el caso del parámetro Coliformes termotolerantes los porcentajes de remoción al día 7 de tratamiento fue de 96,86 %

(Algunos datos excedían el LMP y el ECA para efluentes de Categoría 3) y al día 14 del 99,41 % (Las concentraciones no excedían los LMP ni el ECA para agua).

## 6.2. Recomendaciones

- Utilizar especies fitorremediadoras endémicas es un factor positivo en los resultados finales de los tratamientos de agua residual, por el motivo de que las especies ya se encuentran adaptadas al ambiente meteorológico del área experimental.
- Se recomienda emplear la especie *Colocasia esculenta* “pituca” en sistemas de fitorremediación por presentar mejor adaptación a las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de los efluentes residuales domésticos, además de presentar elevados porcentajes de remoción de contaminantes y de normalizar los parámetros intervinientes como el pH y temperatura.
- Es recomendable instalar un sistema de recirculación del agua durante la etapa de tratamiento para evitar el crecimiento de colonias de microorganismos sobre el espejo del agua, que con el transcurso de los días impedirán el ingreso de oxígeno y luz en la zona inferior del recipiente del tratamiento.
- Para incrementar la eficiencia de los sistemas de tratamiento mediante fitorremediación es recomendable que el agua residual transcurra previamente por un pretratamiento donde se eliminen los cuerpos sólidos de gran tamaño.
- Se recomienda proseguir con la investigación sobre especies de plantas con elevado potencial de remoción de contaminantes de aguas residuales; pero también de aquellas que actúen en suelos y puedan eliminar o reducir los efectos negativos al medio ambiente que son originados por las actividades antrópicas.
- Los Gobiernos Locales y Regionales deben asegurar la masificación en obras de agua y saneamiento en todos los lugares de Perú, principalmente en centro poblados, para evitar el inadecuado dispersión de los efluentes residuales Domésticos o de las Municipalidades y el ECA para efluentes de Categoría 3: Riego de Vegetales restringidos y no restringidos.
- Aplicar los sistemas de tratamientos de efluentes residuales empleando la técnica de fitorremediación, puede ser una alternativa de solución a corto plazo a favor de los centros poblados por parte de las Áreas Técnicas Municipales, que pueden asegurar un agua de calidad para los habitantes.

- Fomentar la inversión en construcción de plantas de tratamiento de efluentes residuales en todo el Perú, principalmente en las zonas rurales donde se han reportado el vertimiento de efluentes residuales en los canales de regadío.

## CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

- Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior*. Recuperado de <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>.
- Arce, P. (2018). *Humedales artificiales: una alternativa para tratamiento de aguas de producción* (tesis de maestría). Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7132/1/091369-2018-I-GA.pdf>
- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (2017). *Aguas grises: Un recurso latente*. Recuperado de <https://www.aidis.cl/wp-content/uploads/2016/10/REVISTA-AIDIS-2017-.pdf>
- Ávila, D. (2017). *Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla* (tesis de maestría). Recuperado de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/966>
- Ayala, R., Calderón, E., Rascón, J. y Collazos, R. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Revista de investigación en Agroproducción Sustentable*, 2(3), 47-53. doi <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20183.403>
- Calderón, V. (2018). *Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales por electrocoagulación, con adición de peróxido de hidrógeno, en un reactor tubular* (tesis de maestría). Recuperado de [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5165/T010\\_2008295\\_2\\_M.pdf?sequence=1](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5165/T010_2008295_2_M.pdf?sequence=1)
- Carhuarica, P. (2019). *Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle (Huánuco), agosto-setiembre 2018* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/1598;jsessionid=28349E1E08A00B859D6A9F300EC859C4>
- Carreño, U. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la *Eichhornia crassipes*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 74-81. doi: <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.52271>

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Recuperado de [http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_indice.pdf](http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf)
- Chemonics International Inc. (2004). *El cultivo de Malanga coco (Colocasia esculenta)*. Recuperado de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01C965cm.pdf>
- Delgadillo, A., Gonzales, C., Prieto, F., Villagómez, J., y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2011), 597-612. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Dionisio, F. (2012). *Modelo de reactor anaerobio y filtro de flujo vertical inverso para tratamiento de aguas residuales* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/363>
- D.S. N° 031-2010-SA (24 de septiembre de 2010). Reglamento de la calidad del agua para consumo humano – DGA-MINSA. *Diario Oficial El Peruano*. Recuperado de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- D.S. N°004-2017-MINAM (07 de junio de 2017). Estándar de Calidad Ambiental para Agua. *Diario Oficial El Peruano*. Recuperado de <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- D.S. N°003-2010-MINAM (17 de marzo de 2010). Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. *Diario Oficial El Peruano*. Recuperado de [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf)
- Gestión Preventiva y Saneamiento Ambiental – GSA (junio de 2022). ¿Qué es una red de alcantarillado? Recuperado de <https://saneamientoambiental.co/que-es-una-red-de-alcantarillado-2/>
- Ghosh, M., y Singh, S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. *Applied ecology and environmental research*, 3(1), 1-18. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93918231023.pdf>
- Guadarrama, R., Kido, J., Roldán, G., y Salas, M. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(5), 1-10. Recuperado de [https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales/vol2num5/Revista\\_de\\_Ciencias\\_Ambientales\\_y\\_Recursos\\_Naturales\\_V2\\_N5\\_1.pdf](https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales/vol2num5/Revista_de_Ciencias_Ambientales_y_Recursos_Naturales_V2_N5_1.pdf)

- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación – Sexta edición*. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Higuera, M., Peña, R., y Escalante, L. (2019). Utilización de *Hydrocotyle umbellata* en la absorción de elementos contaminantes específicos en aguas residuales. *Tecnociencia*, 21(1), 15-25. Recuperado de <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/224/2241082002/index.html>
- Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI, 2020). Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico. Recuperado de [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin\\_agua\\_junio2020.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf)
- Jiménez, M. (2016). *Evaluación de un filtro artesanal del efluente de una lavadora de autos a base de bagazo de caña de maíz, aserrín, ceniza de carbón vegetal y grava* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/24179>
- Laboratorio de Gestión Ambiental LGA (mayo de 2022). Toma de muestras y análisis in situ. Recuperado de <https://laboratorio-lga.com/areas-de-actividad/toma-de-muestras-y-analisis-in-situ/>
- Larrea, J., Rojas, M., Romeu, B., Rojas, N. y Heydrich, M. (2012). Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura. *Revista CENIC - Ciencias Biológicas*, 44(3),24-34. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181229302004>
- Lozada, A. (2005). *Producción del cultivo de papa china (Colocasia esculenta) utilizando dos métodos de propagación asexual bajo cuatro niveles de fertilización orgánica* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5423/4/T-ESPE-IASA%20I-002856.pdf>
- Mena, A. (2022). *Eficiencia del sistema de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas* (tesis de doctorado). Recuperado de <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18006>
- Mendoza, Y., Pérez, J., y Galindo, A. (2018). Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Información tecnológica*, 29(2), 205-214. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>

- Metcalf y Eddy, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/290416625/Ingenieria-de-Aguas-Residuales-Completo>
- Ministerio del Ambiente del Perú – MINAM (mayo de 2022). Estándares de calidad ambiental. Recuperado de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/#:~:text=Los%20Est%C3%A1ndares%20de%20Calidad%20Ambienta,s ofisticados%20y%20de%20evaluaci%C3%B3n%20detallada>
- Mora, D. y García, J. (2020). *Determinación de calidad del recurso hídrico del Río Fucha en los tramos 1 y 2* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/33517/dmoraf.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Murcia, M., Calderón, O., y Díaz, J. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *Tecno Lógicas*, 17(32), 57-65. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344233949006.pdf>
- Naciones Unidas (2018). *La Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)
- Navarro, A., Beissos, F., Marc, J., y Jaumejoan, T. (2020). Desempeño de humedales construidos de flujo vertical en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Cubana de Química*, 32(3), 365-377. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/4435/443565548001/443565548001.pdf>
- Nevado, G. (2022). *Evaluación y estudio de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí en el departamento de Lambayeque 2020* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12423/7/browse?value=Nevado+Hernandez%2C+Geraldine+Liset&type=author>
- Ome, O., y Zafra, C. (2018). Factores clave en procesos de biorremediación para la depuración de aguas residuales. una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 21 (2), 573 – 585. doi: <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.1037>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Recuperado de: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2017). *Aguas residuales, el recurso desaprovechado*. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/>
- Palta, G., y Morales S. (2013). Fitodepuración de aguas residuales domésticas con Poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximum* en el municipio de Popayán, Cauca. *Rev. Agro*, 11(2), 57-65. Recuperado de: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612013000200007](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200007)
- Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP (12 de julio de 2019). ¿Las aguas residuales generan sustancias que dañan el medio ambiente? Recuperado de <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/las-aguas-residuales-generan-sustancias-que-danan-el-medio-ambiente/>
- Ramírez, J. (2018). Evaluación del vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y la elefanta (*Pennisetum purpureum*) en la caracterización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista Científica En Ciencias Ambientales Y Sostenibilidad*, 4(1), 1-13. Recuperado de: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/335340>
- Ramón M., y Santos C. (1997). El carrizo y sus utilidades. Recuperado de <http://www.rjb.csic.es/jardinbotanico/ficheros/documentos/pdf/pubinv/RMV/182QUERCUS.pdf>
- Real Academia Española (junio de 2022). Eficiencia. Recuperado de <https://dle.rae.es/eficiencia>
- Rodríguez, N. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de filtro biológico en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas, Sector Las Lomas, Moyobamba, 2015 – 2016*. (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3714>
- Rosas, J. (2018). *Tratamiento del agua del canal de regadío para remoción de DBO5, DQO, Escherichia coli y Coliformes Termotolerantes con Typha latifolia y Phragmites australis en humedales artificiales en el vivero municipal de Los Olivos, 2018* (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/52664>

- Secretaría General de la Comunidad Andina (2008). Manual de estadísticas ambientales andinas. Recuperado de [https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual estadísticas ambientales.pdf](https://www.comunidadandina.org/StaticFiles/OtrosTemas/MedioAmbiente/Manual%20estadisticas%20ambientales.pdf)
- Sistema Nacional de Información Ambiental – SINIA (2019). Volumen anual de vertimientos de aguas residuales industriales autorizadas. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/indicadores/volumen-anual-vertimientos-aguas-residuales-industriales0#:~:text=Asimismo%20vertimiento%20de%20aguas%20residuales,%20agua%20continental%20o%20mar%C3%ADtima.>
- Solano, A. (2019). *Comparación de la eficiencia de Pistia stratiotes y Azolla filiculoides para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/35251>
- Suárez, V., y Vásquez, K. (2020). *Evaluación de dos macrófitos en el tratamiento de aguas residuales domésticas de la Parroquia Gonzáles Suárez, Cantón Otavalo* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10582/2/03%20RNR%20360%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2008). Estudio Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución. Recuperado de <https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/3.-Sunass-GIZ-PROAGUA-2008.-Diagn%C3%B3stico-situacional-de-los-sistemas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-las-EPS-del-Per%C3%BA-y-propuestas-de-soluci%C3%B3n.pdf>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras 2022. Recuperado de [https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR\\_VdigitalConcomentario.pdf](https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf)

- Torres, J., Magno, J., Pineda, R. y Cruz, M. (2017). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, en Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2), 48-64. doi <http://dx.doi.org/10.17162/rictd.v1i2.954>
- Vázquez, E. y Rojas T. (Ed.). (2016). *Ph: Teoría y 232 problemas*. Recuperado de <http://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>

## **ANEXOS**

## Anexo N°1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<b>Problema principal</b>	<b>Objetivo principal</b>	<b>Hipótesis principal</b>	<b>V. I. (X)</b>	<b>Diseño de la investigación</b>
¿Cuál de las dos especies <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” o <i>Phragmites australis</i> “carrizo”, presentará mayor eficiencia en la reducción de la concentración de parámetros del agua residual doméstica del centro poblado Huayán-Huaral?	Comparar la eficiencia de la <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” y <i>Phragmites australis</i> “carrizo” en la reducción de la concentración de parámetros del agua residual domésticas del centro poblado Huayán-Huaral.	Ho: La especie <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” tendrá mayor eficiencia de reducción de la concentración de parámetros que la especie <i>Phragmites australis</i> “carrizo” para el tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Huayán-Huaral.	Tratamiento de fitorremediación	El diseño de la investigación es experimental de tipo experimental. <b>Población</b> - Total de especies de <i>Colocasia esculenta</i> y <i>Phragmites australis</i> del centro poblado Huayán. - Total de agua residual doméstica generada en los hogares del centro poblado.
<b>Problemas secundarios</b>	<b>Objetivos secundarios</b>	<b>Hipótesis secundarias</b>	<b>V. D. (Y)</b>	<b>Muestra</b>
- ¿Cómo es la calidad del agua residual doméstica del centro poblado Huayán antes del tratamiento de fitorremediación? - ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán posterior al tratamiento de fitorremediación con la especie <i>Colocasia esculenta</i> “pituca”? - ¿Cuál es el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán posterior al tratamiento de fitorremediación con la especie <i>Phragmites australis</i> “carrizo”?	- Determinar la calidad del agua residual doméstica del centro poblado Huayán antes del tratamiento de fitorremediación. - Calcular el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica mediante el tratamiento de fitorremediación con la especie <i>Colocasia esculenta</i> “pituca”. - Calcular el porcentaje de remoción de los contaminantes del agua residual doméstica mediante el tratamiento de fitorremediación con la especie <i>Phragmites australis</i> “carrizo”.	Ho: La concentración inicial de los parámetros del agua residual doméstica del centro poblado Huayán excederán los LMP del D.S. N° 003-2010-MINAM y el ECA del D.S. N°004-2017-MINAM de Categoría 3: Riego de Vegetales y bebida de animales.  Ho: Los porcentajes de remoción de contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán con la especie <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” serán mayores o iguales al 50%.  Ho: Los porcentajes de remoción de contaminantes del agua residual doméstica del centro poblado Huayán con la especie <i>Phragmites australis</i> “carrizo” serán mayores o iguales al 50%.	Remoción de contaminantes	- 6 especies de <i>Colocasia esculenta</i> “pituca” - 6 especies de <i>Phragmites australis</i> “carrizo”. - 140 litros de agua residual.  <b>Técnicas De Análisis De Datos</b> - Almacenamiento y ordenamiento de datos con Microsoft Excel 2019. - Análisis de datos con el software MINITAB 20 mediante una prueba de ANOVA y Prueba de Dunnett.

## Anexo N°2. Fotografías



*Figura 26.* Punto de vertimiento del agua residual del CC.PP. Huayán.



*Figura 27.* Viviendas del CC.PP. Huayán-Huaral



Figura 28. Calibración automática del tester de pH y Temperatura.

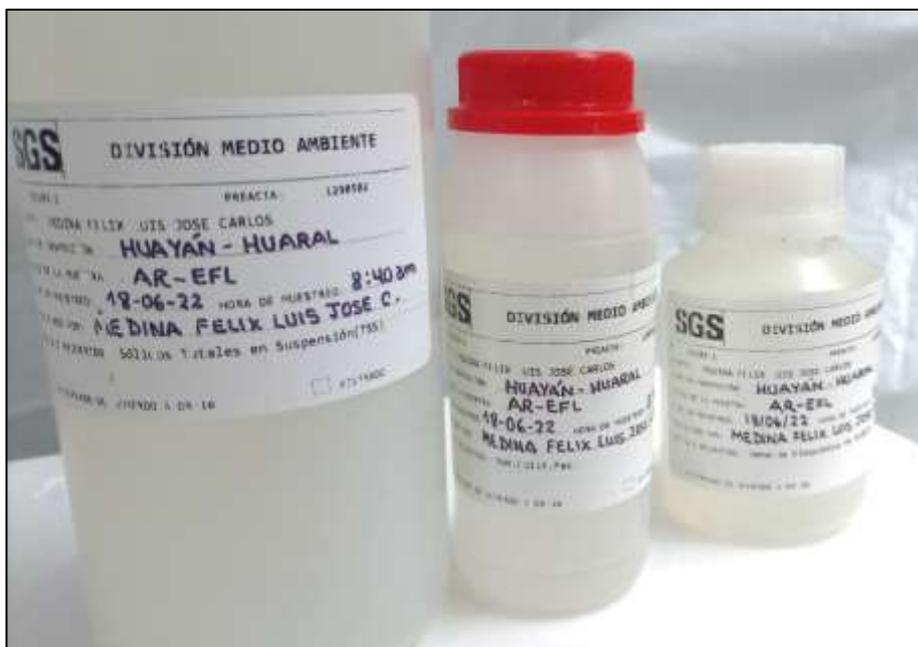


Figura 29. Muestras de agua residual enviadas al laboratorio.

### Anexo N°3. Normativa ambiental – ECA de agua.

#### Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del D.S. N°004-2017-MINAM-Estándar de Calidad Ambiental para efluentes de Categoría 3: Riego de material Vegetal y para la bebida de los animales.

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**
<p>(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).</p> <p>(b): Después de filtración simple.</p> <p>(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.</p> <p>Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.</p>				

**Anexo N°4. Datos de los análisis de laboratorio**

N°	Parámetros	Repeticiones	Control (AR-EFL)	Tratamiento N°1 <i>Colocasia esculenta</i> "pituca" (T1)		Tratamiento N°2 <i>Phragmites australis</i> "carrizo" (T2)	
			Día 0	Día 7	Día 14	Día 7	Día 14
1	pH	R1	8,05	7,76	7,59	7,49	7,35
		R2		7,52	7,40	7,87	7,53
		R3		7,88	7,67	8,17	7,92
		Promedio		7,72	7,55	7,84	7,60
2	Temperatura (°C)	R1	17,4	14,7	16,3	14,7	16,3
		R2		14,6	16,2	14,6	16,1
		R3		14,7	16,3	14,6	16,2
		Promedio		14,7	16,3	14,6	16,2
3	Sólidos Totales Suspendidos (mg/L)	R1	29	6	8	4	4
		R2		4	5	7	6
		R3		2	2	6	4
		Promedio		4	5	5,7	4,7
4	DBO5 (mg/L)	R1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
		R2		2,5	2,5	2,5	2,5
		R3		2,5	2,5	2,5	2,5
		Promedio		2,5	2,5	2,5	2,5
5	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	R1	220 000	2300	2200	13000	790
		R2		2300	330	2800	2800
		R3		1700	330	4900	280
		Promedio		2100	953,3	6900	1290

Anexo N°5. Registros de datos en campo

REGISTRO DE DATOS DE CAMPO (PRE-TRATAMIENTO)

<b>Proyecto</b>	Tratamiento de aguas residuales domésticas con las especies <i>Colocasia esculenta</i> "pituca" y <i>Phragmites australis</i> "carrizo" en el centro poblado Huayán-Huaral		
<b>Ubicación geográfica (CC.PP./Dist./Prov./ Dep.)</b>	Huayán/ Huaral/ Huaral/ Lima		
<b>Responsable del monitoreo</b>	Luis Jose Carlos Medina Felix		
<b>Fecha y hora de monitoreo</b>	18/06/22	08:35 am.	
<b>Lugar de monitoreo</b>	<b>Estación de monitoreo</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura</b>
Efluente de agua residual doméstica	AR-EFL	8.05	17.4 °C

**REGISTRO DE DATOS DE CAMPO (TRATAMIENTO)**

<b>Proyecto</b>	Tratamiento de aguas residuales domésticas con las especies <i>Colocasia esculenta</i> "pituca" y <i>Phragmites australis</i> "carrizo" en el centro poblado Huayán-Huaral		
<b>Ubicación geográfica (CC.PP./Dist. /Prov. / Dep.)</b>	Huayán/ Huaral/ Huaral/ Lima		
<b>Responsable del monitoreo</b>	Luis Jose Carlos Medina Felix		
<b>Fecha y hora de monitoreo</b>	25 / 06 / 22		08 : 30 am

<b>Tratamiento</b>	<b>Estación de monitoreo</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura ( °C )</b>
<i>Colocasia esculenta</i> "pituca"	AR-T1-R1	7.76	14.7
	AR-T1-R2	7.52	14.6
	AR-T1-R3	7.88	14.7
<i>Phragmites australis</i> "carrizo"	AR-T2-R1	7.49	14.7
	AR-T2-R2	7.87	14.6
	AR-T2-R3	8.17	14.6
Control	AR-Ce	7.90	14.8

**REGISTRO DE DATOS DE CAMPO (TRATAMIENTO)**

<b>Proyecto</b>	Tratamiento de aguas residuales domésticas con las especies <i>Colocasia esculenta</i> "pituca" y <i>Phragmites australis</i> "carrizo" en el centro poblado Huayán-Huaral	
<b>Ubicación geográfica (CC.PP./Dist./Prov. / Dep.)</b>	Huayán/ Huaral/ Huaral/ Lima	
<b>Responsable del monitoreo</b>	Luis Jose Carlos Medina Felix	
<b>Fecha y hora de monitoreo</b>	01/07/22	04:20 pm

<b>Tratamiento</b>	<b>Estación de monitoreo</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
<i>Colocasia esculenta</i> "pituca"	AR-T1-R1	7.59	16.3
	AR-T1-R2	7.40	16.2
	AR-T1-R3	7.67	16.3
<i>Phragmites australis</i> "carrizo"	AR-T2-R1	7.35	16.3
	AR-T2-R2	7.53	16.1
	AR-T2-R3	7.92	16.2
Control	AR-Ce	7.12	16.6







**Laboratorio Callao**  
Avenida Erwin Fajon 3345, Callao 1  
Teléfono: (01) 317 1900  
E-mail: pe.laboratorio@sgs.com

**Laboratorio Arequipa**  
Ernesto Gutierrez N° 275, Parque Industrial  
Teléfono: (054) 213200  
E-mail: arequipa@sgs.com

**Laboratorio Cajamarca**  
Calle Amado Mendoza 207, Distrito San Antonio  
Teléfono: (076) 807233  
E-mail: jcb@huanca@sgs.com

**CADENA DE CUSTODIA PARA MONITOREO DE AGUA** N° 323553

DATOS DEL CLIENTE		Frecuencia del Monitoreo:		Cantidad de envases (Plástico / Vidrio)		Análisis requeridos / Preservantes		TIPOS DE AGUA*	
Cliente: LUIS JOSE CARLOS MEBINA FELIX Contacto: _____ Teléfono: 935521324 E-mail: m.f.jose.98@gmail.com Lugar de Inspección: CC.PP. HUAYAN - DIST. HUACAL - LIMA		Periódico <input checked="" type="checkbox"/> No Periódico <input type="checkbox"/> Especial <input type="checkbox"/>						AGUA NATURAL ANA - Agua de manantial AN - Agua de lluvia ANE - Agua de nieve ANS - Agua de lago / laguna ANLA - Agua de evaporación atmosférica AGUA RESIDUAL ARD - Agua residual doméstica ARE - Agua residual industrial ARN - Agua residual municipal ARMA - AGUA MARRAÑO Y COMARCAS MARAÑO AR - Agua de mar AGUA DE PROCESO ACE - Agua de extracción de extracto AAC - Agua de procesamiento para cadenas AC - Agua de celderos AL - Agua de lavado APR - Agua de riego APE - Agua de irrigación y riego (salina)	
Muestreado por: <input type="checkbox"/> SGS <input checked="" type="checkbox"/> Cliente		N° de Pre-Acta: 01-07-22 Fecha de inicio: 01-07-22 Hora de inicio: 04:30 PM		Fecha de finalización: 01-07-22 Hora de finalización: 06:00 PM					
Nº	Estación	Coordenadas UTM WGS 84	Altura (metros)	Tipo de Agua Simple / Compuesto	Fecha Hora	P Plástico	V Vidrio	Observaciones	Observaciones
1	AR-TA-R1	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 4:35 PM	3		Coliform. Termotolerantes / Fósforo / Na	
2	AR-TA-R2	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 4:45 PM	3		Sólidos Totales en Suspensión	
3	AR-TA-R3	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 4:55 PM	3			
4	AR-T2-R1	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 5:10 PM	3			
5	AR-T2-R2	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 5:20 PM	3			
6	AR-T2-R3	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 5:35 PM	3			
7	AR-Ce	8733203.9 N 268309.1 E	361	ARD V	01/07/22 5:50 PM	3			
Inspector responsable: _____ Fecha: _____ Representante del Cliente: _____ Firma: _____									
N° de Caudas: 1 N° de Frascos: 21						N° de Coas Puffs: 8			
Fecha de Recepción de las Muestras: _____ Responsable de la Recepción de las Muestras: <i>Edwin Becerra</i> Condiciones en que se recibieron las muestras: Refrigeradas <input type="checkbox"/> Preservadas <input type="checkbox"/> Duración del tiempo de conservación: _____ N° de muestras robadas: _____ Otros (especificar): _____									
Temperatura (°C): 4									

CGD-P18619

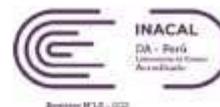
INS-R-EHS 65  
Rev 9  
F.A. Enero 2020

SGS del Perú S.A.C.  
CALLAO  
02 JUL 2022  
RECIBIDO  
Dpto. Arequipa - EHS

## Anexo N°7. Informes reportados de los ensayos del laboratorio



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



### **INFORME DE ENSAYO MA2225314 Rev. 0**

**MEDINA FELIX LUIS JOSE CARLOS**

ASOC. DE VIV. LA PRIMAVERA - PSJE. LOS CLAVELES MZ. "G" LTE. 11. HUARAL - LIMA

ENV / LB-351109-002

PROCEDENCIA : CC.PP.HUAYÁN - DIST. HUARAL - LIMA

Fecha de Recepción SGS : 18-06-2022  
Fecha de Ejecución : Del 18-06-2022 al 27-06-2022  
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
AR-EFL

**Emitido por SGS del Perú S.A.C.**

**Impreso el 27/06/2022**

**Frank M. Julcamoro Quispe**  
C.Q.P. 1033  
Coordinador de Laboratorio

**Elizabeth V. Capuñay España**  
C.B.P 8508  
Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO  
MA2225314 Rev. 0

Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
<b>IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA</b>					
FECHA DE MUESTREO					
HORA DE MUESTREO					
CATEGORÍA					
SUB CATEGORÍA					
AS-EPL 8733183391 / 268357.2E 18/06/2022 08:40:00 AGUA RESIDUAL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA					
<b>Análisis Generales</b>					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	29 ± 7
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno</b>	EW_APH2510B	mg/L	1.0	2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>					
Formación de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APH221E_NMP	NMP/100 ml	-	-	220000



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2225314 Rev. 0**

**CONTROL DE CALIDAD**

LC: Límite de cuantificación  
MB: Bias del proceso  
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso  
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada  
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada  
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	0%	96 - 100%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.0	<2.6		



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2225314 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2540D	Callao	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017, Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017
EW_APHA5210B	Callao	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APHA9221E_NMP	Callao	Numeraación de Coliformes fecales o termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed. 2017, Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure, Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2225314 Rev. 0**

**NOTAS**

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"**

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/ve-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.  
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Página 5 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226084 Rev. 0**

**MEDINA FELIX LUIS JOSE CARLOS**

ASOC. DE VIV. LA PRIMAVERA - PSJE. LOS CLAVELES MZ. "G" LTE. 11. HUARAL - LIMA

ENV / LB-351109-003

Fecha de Recepción SGS : 25-06-2022  
Fecha de Ejecución : Del 25-06-2022 al 02-07-2022  
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
AR - T1 - R1
AR - T1 - R2
AR - T1 - R3
AR - T2 - R1
AR - T2 - R2
AR - T2 - R3
AR - Ce

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 02/07/2022

Frank M. Julcamoro Quispe  
C.Q.P. 1033  
Coordinador de Laboratorio

Elizabeth V. Capuñay España  
C.B.P 8508

Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2226084 Rev. 0**

IDENTIFICACION DE MUESTRA					AR - T1 - R1	AR - T1 - R2
FECHA DE MUESTREO					25/06/2022	25/06/2022
HORA DE MUESTREO					08:45:00	08:52:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parametro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH42540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	5 ± 1	4 ± 1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APH4210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APH4221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	2300	2300

IDENTIFICACION DE MUESTRA					AR - T1 - R3	AR - T2 - R1
FECHA DE MUESTREO					25/06/2022	25/06/2022
HORA DE MUESTREO					09:45:00	09:10:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parametro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH42540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	<3	4 ± 1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APH4210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APH4221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	1700	13000

IDENTIFICACION DE MUESTRA					AR - T2 - R2	AR - T2 - R3
FECHA DE MUESTREO					25/06/2022	25/06/2022
HORA DE MUESTREO					09:20:00	09:35:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parametro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH42540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	7 ± 2	6 ± 1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APH4210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APH4221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	2800	4900

IDENTIFICACION DE MUESTRA					AR - Cw
FECHA DE MUESTREO					25/06/2022
HORA DE MUESTREO					09:40:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parametro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APH42540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	3 ± 1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW_APH4210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>					
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APH4221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	1300



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226084 Rev. 0**

**CONTROL DE CALIDAD**

LC: Límite de cuantificación  
MB: Bias del proceso  
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso  
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada  
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada  
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	3	<3	0%	96 - 103%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.0	<2.6		100%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226084 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2540D	Callao	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017, Solids: Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017
EW_APHA5210B	Callao	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APHA9221E_NMP	Callao	Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E.1, 23rd Ed. 2017, Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226084 Rev. 0**

**NOTAS**

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**\*Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC\***

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C. las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.peru.es/TermsandConditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regirá por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226845 Rev. 0**

**MEDINA FELIX LUIS JOSE CARLOS**

ASOC. DE VIV. LA PRIMAVERA - PSJE. LOS CLAVELES MZ. "G" LTE. 11. HUARAL - LIMA

ENV / LB-351109-004

PROCEDENCIA : CC.PP.HUAYAN - DIST. HUARAL - LIMA

Fecha de Recepción SGS : 02-07-2022

Fecha de Ejecución : Del 02-07-2022 al 09-07-2022

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
AR - T1 - R1
AR - T1 - R2
AR - T1 - R3
AR - T2 - R1
AR - T2 - R2
AR - T2 - R3
AR - Ce

Emitido por **SGS del Perú S.A.C.**

Impreso el **09/07/2022**

**Frank M. Julcamoro Quispe**

C. Q.P. 1033

Coordinador de Laboratorio

**Elizabeth V. Capuriay España**

C.B.P 8508

Coordinador de Laboratorio Microbiología

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 5



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226845 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AR - T1 - R1	AR - T1 - R2
FECHA DE MUESTREO					01/07/2022	01/07/2022
HORA DE MUESTREO					16:35:00	16:45:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	8 ± 2	5 ± 1
Demanda Biológica de Oxígeno	EW_APHA210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	2200	330

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AR - T1 - R3	AR - T2 - R1
FECHA DE MUESTREO					01/07/2022	01/07/2022
HORA DE MUESTREO					16:55:00	17:10:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	<3	4 ± 1
Demanda Biológica de Oxígeno	EW_APHA210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	330	790

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AR - T2 - R2	AR - T2 - R3
FECHA DE MUESTREO					01/07/2022	01/07/2022
HORA DE MUESTREO					17:20:00	17:35:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL	AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA	AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>						
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	6 ± 1	4 ± 1
Demanda Biológica de Oxígeno	EW_APHA210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>						
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	2800	280

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					AR - C6
FECHA DE MUESTREO					01/07/2022
HORA DE MUESTREO					17:50:00
CATEGORIA					AGUA RESIDUAL
SUB CATEGORIA					AGUA RESIDUAL DOMESTICA
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>					
Sólidos Totales en Suspensión	EW_APHA2540D	mg Sólidos Totales en Suspensión/L	1	3	<3
Demanda Biológica de Oxígeno	EW_APHA210B	mg/L	1.0	2.6	<2.6
<b>Análisis Microbiológicos</b>					
Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	EW_APHA221E_NMP	NMP/100 mL	-	-	49



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226845 Rev. 0**

**CONTROL DE CALIDAD**

LC: Límite de cuantificación  
MB: Blanco del proceso  
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada  
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada  
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery
Sólidos Totales en Suspensión	mg Sólidos Totales en Suspensión	3	<3	0 - 2%	98 - 103%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6		95 - 100%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226845 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APH42540D	Callao	Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540-D, 23rd Ed. 2017, Solids, Total Suspended Solids dried at 103-105 °C. (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance) 2017
EW_APH45210B	Callao	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017, Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test
EW_APH48221E_NMF	Callao	Numeración de Coliformes fecales o termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221E, 1, 23rd Ed. 2017, Multiple-tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Fecal Coliform Procedure, Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2226845 Rev. 0**

**NOTAS**

**Notas:**

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

**"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"**

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs-peru.com/ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción delimitada en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.  
Los resultados del Informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s), no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión: Enero 2022

Página 5 de 5