UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA SELVA CENTRAL JUAN SANTOS ATAHUALPA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Implementación y diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales del jengibre mediante humedales artificiales en el distrito de Pichanaqui, Junín, 2025”

TESIS

Para optar el Título profesional de Ingeniero (a) Ambiental

AUTOR:

Olortegui Bravo Arnold Shuarnerg

ASESOR:

Ing. Roger Franco Aguilar Rojas

Pichanaqui , Perú

2026

AGRADECIMIENTOS

Agradezco, en primer lugar, a Dios, por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar las dificultades y permitirme alcanzar esta meta profesional. A mi familia, por su confianza, amor y apoyo incondicional, que fueron fundamentales para motivarme a seguir adelante y no rendirme durante este proceso.

Asimismo, expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor y mis revisores, por brindarme su orientación, conocimientos y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, colaboraron en la realización de este trabajo de investigación, aportando su tiempo, apoyo y conocimientos para hacer posible su culminación.

DEDICATORIA

A mis queridos padres, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. Gracias por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y por enseñarme, con su ejemplo, el valor de la perseverancia, la responsabilidad y la disciplina.

Arnold Olortegui

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo proponer un diseño técnico de sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales generadas por una empresa agroindustrial dedicada al procesamiento de jengibre en el distrito de Pichanaqui, Junín. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con diseño no experimental y nivel descriptivo-propositivo. En una primera etapa se evaluó la calidad actual del agua residual descargada hacia la cuenca del río Perené, identificándose valores elevados de turbidez (304.5 NTU), sólidos suspendidos totales (271.5 mg/L) y conductividad eléctrica (557 µS/cm). Posteriormente, mediante un análisis sistemático de literatura científica y técnica, se determinó que un sistema híbrido conformado por humedal de flujo subsuperficial vertical, humedal de flujo subsuperficial horizontal y una celda de pulido superficial se perfila como la opción más idónea para el tratamiento de este tipo de efluentes. Asimismo, se seleccionaron las especies vegetales *Arundo donax y Chrysopogon zizanioides* (vetiver) por su elevada capacidad de adaptación a condiciones tropicales, desarrollo radicular favorable y eficiencia reportada en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos. Con base en ello, se diseñó un prototipo piloto y se evaluó la calidad del agua tratada. Los resultados evidenciaron reducciones de 92% en turbidez, 69% en sólidos suspendidos totales y 49% en conductividad eléctrica. Aunque el análisis estadístico presentó limitaciones asociadas al tamaño reducido de muestra, los resultados técnicos demostraron que los humedales artificiales constituyen una alternativa viable, sostenible y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales en zonas tropicales.

Palabras clave: humedales artificiales, aguas residuales agroindustriales, tratamiento de agua, jengibre, Pichanaqui, fitorremediación.

ABSTRACT

The objective of this research was to propose a technical design of a constructed wetland system for the treatment of wastewater generated by an agro-industrial company dedicated to ginger processing in the district of Pichanaqui, Junín, Peru. The study followed a quantitative approach, applied research type, with a non-experimental design and a descriptive-propositional level. In the first stage, the current quality of wastewater discharged into the Perené River basin was evaluated, identifying high levels of turbidity (304.5 NTU), total suspended solids (271.5 mg/L), and electrical conductivity (557 µS/cm). Subsequently, through a systematic review of scientific and technical literature, a hybrid system composed of a vertical subsurface flow wetland, a horizontal subsurface flow wetland, and a final surface polishing cell was identified as the most suitable alternative for treating this type of effluent. Likewise, Arundo donax and Chrysopogon zizanioides (vetiver grass) were selected as the most appropriate plant species due to their adaptation to tropical conditions, extensive root development, and reported efficiency in the removal of organic matter and suspended solids. Based on these findings, a pilot-scale prototype was designed and the treated water quality was evaluated. The results showed reductions of 92% in turbidity, 69% in total suspended solids, and 49% in electrical conductivity. Although the statistical analysis was limited by the small sample size, the technical results demonstrated that constructed wetlands constitute a viable, sustainable, and low-cost alternative for the treatment of agro-industrial wastewater in tropical regions.

Keywords: constructed wetlands, agro-industrial wastewater, water treatment, ginger, Pichanaqui, phytoremediation.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye un recurso esencial para la vida, el desarrollo económico y la sostenibilidad de los ecosistemas. Sin embargo, el crecimiento de las actividades productivas y agroindustriales ha incrementado la generación de aguas residuales con cargas contaminantes que, en muchos casos, son descargadas sin un tratamiento adecuado. Esta situación en consecuencia, compromete la calidad de los cuerpos de agua receptores, lo que repercute en la biodiversidad, la salud pública y el aprovechamiento futuro del recurso hídrico.

En el Perú, el sector agroindustrial cumple un rol estratégico por el impacto que genera económicamente y a la generación de puestos de trabajo, la exportación y la dinamización económica de diversas regiones. No obstante, también genera efluentes líquidos con presencia de sólidos suspendidos, materia orgánica, restos vegetales, grasas, aceites y compuestos solubles derivados de los procesos de lavado, selección y transformación de materias primas agrícolas. Cuando estos vertimientos no son gestionados técnicamente, generan presión sobre ríos y quebradas cercanas, especialmente en zonas de alta producción agrícola.

El distrito de Pichanaqui, ubicado en la provincia de Chanchamayo, región Junín, constituye una de las principales zonas productoras de jengibre del país. El incremento de pequeñas y medianas agroindustrias vinculadas a este cultivo ha impulsado la economía local, pero también ha generado nuevas demandas ambientales relacionadas con el manejo de residuos sólidos y líquidos. En este contexto, la descarga de aguas residuales hacia la cuenca del río Perené representa una preocupación creciente, debido a los posibles efectos sobre la calidad del agua y los ecosistemas asociados.

Frente a esta problemática, los humedales artificiales se presentan como una alternativa tecnológica sostenible para el tratamiento de aguas residuales, al integrar mecanismos de naturaleza física, química y biológica mediante el uso de sustratos filtrantes, microorganismos y especies vegetales adaptadas al entorno. Entre sus principales ventajas destacan el bajo costo de operación, reducido consumo energético, facilidad de mantenimiento y compatibilidad con zonas rurales o periurbanas. Además, su aplicación en climas tropicales favorece el desarrollo vegetal y la actividad microbiológica, incrementando su eficiencia depuradora.

La presente investigación tuvo como objetivo proponer un diseño técnico de sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de una empresa agroindustrial en Pichanaqui, evaluando previamente la calidad actual del agua, analizando comparativamente diferentes tipos de humedales y seleccionando especies vegetales adaptadas a la zona.

Asimismo, se valoró el desempeño del sistema mediante la comparación de la calidad del agua antes y después del tratamiento piloto.

El desarrollo del estudio se estructuró en cuatro capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, formulación, objetivos, justificación y delimitación de la investigación. El Capítulo II contiene el marco teórico, antecedentes, bases conceptuales e hipótesis. El Capítulo III describe la metodología empleada, tipo y diseño de investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos. El Capítulo IV expone los resultados obtenidos y su respectivo análisis. Finalmente, se comprende la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

ÍNDICE

RESUMEN 4
ABSTRACT 5
INTRODUCCIÓN 6
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
1.1. Identificación y determinación del problema 12
1.2. Formulación de problema general y específicos 13
1.2.1. *Problema General* 13
1.2.2. *Problemas Específicos* 13
1.3. Objetivos 13
1.3.1. *Objetivo General* 13
1.3.2. *Objetivos Específicos* 13
1.4 Hipótesis 14
1.4.1. *Hipótesis General* 14
1.4.2. Hipótesis Específicas 14
1.5. Justificación del Problema 14
1.5.1. *Justificación teórica* 14
1.5.2. *Justificación práctica* 15
1.6. *Limitaciones de la Investigación* 15
1.7. Justificación de la sostenibilidad del Proyecto 16
II. Marco Teórico 17
2.1. Antecedentes 17
2.2. Bases Teóricas 25
III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 45
3.1. Ámbito 45
3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación 46
3.3. Población y selección de muestra 47
3.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos 49
3.5. Análisis de datos 56
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 58
4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados 58
4.1.1. Calidad actual del agua en el punto de vertimiento de la empresa agroindustrial a la cuenca del río Perené 58
4.1.2. Análisis sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado en el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial 59
4.1.3. Analizar sistemáticamente especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en la zona de Pichanaqui para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales 63

4.1.4. Propuesta de diseño técnico del sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial 68
4.2. Prueba de hipótesis 75
4.2.2. Comparación antes y después: Wilcoxon para muestras pareadas 75
4.2.1. Comparación promedio vs IFC: One-Sample Wilcoxon Signed Rank Test 78
4.3. Discusión de resultados 80
CONCLUSIONES 83
RECOMENDACIONES 84
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 85
ANEXOS 93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de un humedal artificial 26
Figura 2. Partes de un humedal artificial 27
Figura 3. Mecanismos de remoción de contaminantes 28
Figura 4. Transferencia de oxígeno (O2) 30
Figura 5. Sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales 34
Figura 6. Diseño a escala piloto de humedal artificial 35
Figura 7. Procesamiento de Jengibre 42
Figura 8. Mapa de Pichanaqui 45
Figura 9. Diseño del humedal artificial 54
Figura 10. Flujograma de la Investigación 57

Figura 11. Parámetros de calidad del agua en el punto de vertimiento de la empresa agroindustrial hacia la cuenca del río Perené 58
Figura 12. Diagrama del sistema de humedal artificial propuesto 73
Figura 13. Wilcoxon para pH 75
Figura 14. Wilcoxon para Oxígeno Disuelto 76
Figura 15. Wilcoxon para Conductividad eléctrica 76
Figura 16. Wilcoxon para Turbidez 77
Figura 17. Wilcoxon para Sólidos suspendidos totales 77
Figura 18. Wilcoxon para pH 78
Figura 19. Wilcoxon para Conductividad eléctrica 78
Figura 20. Wilcoxon para Demanda Bioquímica de Oxigeno 78
Figura 21. Wilcoxon para Sólidos suspendidos totales 79
Figura 22. Wilcoxon para Aceites y grasas 79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales 28
Tabla 2. Especies vegetales recomendadas 32
Tabla 3. Eficiencia de remoción de contaminantes en diferentes tipos de humedales artificiales según estudios científicos 61
Tabla 4. Comparación de los principales tipos de humedales artificiales utilizados en el tratamiento de aguas residuales 62
Tabla 5. Principales especies vegetales utilizadas en humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales 65
Tabla 6. Eficiencias de remoción de contaminantes reportadas en estudios científicos para diferentes especies utilizadas en humedales artificiales 66
Tabla 7. Tiempo de retención hidráulica (TRH) 70
Tabla 8. Capas del sustrato 72

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación y determinación del problema

La agroindustria en el Perú, especialmente en la región Junín, se le considera como motor clave de desarrollo económico; sin embargo, genera impactos ambientales significativos debido al vertimiento de aguas residuales sin tratamiento adecuado previo. En el distrito de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo, la producción agroindustrial especialmente el lavado de jengibre demanda grandes volúmenes de agua y genera efluentes con alta carga orgánica como son parámetros de DBO_5, sólidos suspendidos, grasas y aceites (Ministerio del Ambiente, 2020), los cuales son descargados directamente al río Perené, afectando su calidad y los ecosistemas acuáticos adyacentes (Cerna, 2022).

Según estudios recientes, las aguas residuales agroindustriales en la selva central contienen concentraciones elevadas de materia orgánica (DBO_5 > 500 mg/L) y nutrientes (nitrógeno y fósforo), derivados del lavado de raíces y tubérculos, lo que genera eutrofización y pérdida de biodiversidad en los cuerpos hídricos (Cusiche & Miranda, 2019). En Pichanaqui, el INEI (2023) reporta que el 60% de las empresas agroexportadoras no cuentan con sistemas de tratamiento, incumpliendo los Límites Máximos Permisibles (LMP) del Decreto Supremo N°010-2021-MINAM. Esta situación se agrava por la falta de tecnologías adaptadas al clima tropical húmedo de la zona, donde los sistemas convencionales (lagunas de oxidación, reactores químicos) suelen ser costosos y poco eficientes.

Frente a esto, los humedales artificiales emergen como una solución sostenible, al articular mecanismos naturales de fitodepuración con una operación con costos austeros para su funcionamiento. Investigaciones en regiones similares, como San Martín y Ucayali, han demostrado su eficacia en la remoción de contaminantes agroindustriales como un >80% de DBO_5 *Typha domingensis y Scirpus californicus* (Trujillo, 2023) . No obstante, en Junín específicamente en Pichanaqui, según lo encontrado aún son escasos los estudios que evalúen: La calidad actual del río Perené y su afectación por efluentes agroindustriales; además de la adaptabilidad de especies vegetales locales como por ejemplo la Heliconia spp., *Cyperus papyrus*, en humedales artificiales para tratar esta tipología de aguas; el diseño técnico óptimo para condiciones de alta pluviosidad y temperatura.

1.2. Formulación de problema general y específicos

1.2.1. *Problema General*

¿Cómo implementar y diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales del jengibre mediante humedales artificiales en el distrito de Pichanaqui, Junín, 2025?

1.2.2. *Problemas Específicos*

- ¿Cuál es la calidad actual del agua de la cuenca del río Perené en la zona baja según los parámetros de DBO_5, SST, aceites y grasas?
- ¿Qué tipo de humedal artificial es el más adecuado para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial?
- ¿Qué especies vegetales de humedales artificiales adaptadas en la zona de Pichanaqui son más efectivas para el tratamiento de aguas residuales?
- ¿Cuál es el diseño técnico adecuado de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial?

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo General*

Implementar y diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales agroindustriales de jengibre mediante un humedal artificial en el distrito de Pichanaqui, Junín, 2025.

1.3.2. *Objetivos Específicos*

- Determinar la calidad actual del agua en el punto de vertimiento de la empresa agroindustrial a la cuenca del río Perené según los parámetros fisicoquímicos de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grases, conductividad eléctrica y DBO_5.
- Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado en el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial.
- Analizar sistemáticamente especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en la zona de Pichanaqui para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales.
- Proponer un diseño técnico del sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial.

1.4 Hipótesis

1.4.1. *Hipótesis General*

La propuesta e implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales, considerando especies vegetales adaptadas (Arundo donax y Chrysopogon zizanioides) y condiciones técnicas locales, permitirá una remoción eficiente de contaminantes para los parámetros fisicoquímicos de turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grases, conductividad eléctrica y DBO5 de las aguas residuales generadas por la empresa agroindustrial de jengibre en el distrito de Pichanaqui.

1.4.2. Hipótesis Específicas

H.E.1: La calidad actual del agua en el punto de vertimiento a la cuenca del río Perené presenta niveles elevados de DBO_5, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas que exceden los valores de referencia internacional (IFC/Banco Mundial) y comprometen la calidad del cuerpo receptor, debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento adecuado.

H.E.2: Entre los diferentes tipos de humedales artificiales, los humedales subsuperficiales horizontales articulando con humedales de flujo subsuperficial vertical, ofrecen mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica presente en aguas residuales agroindustriales.

H.E.3: Las especies vegetales adaptadas y endémicas en Pichanaqui, como *Arundo Donax* o *Vetiver* contribuyen significativamente a la depuración del agua al mejorar la remoción de DBO_5, solidos suspendidos totales, aceites y grasas.

H.E.4: Un diseño técnico que considere flujo hidráulico, profundidad, tipo de sustrato y selección vegetal adecuada permitirá el desarrollo de un sistema de humedal artificial eficaz para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales.

1.5. Justificación del Problema

1.5.1. *Justificación teórica*

Esta investigación se sustenta en el enfoque de tratamiento sostenible de aguas residuales mediante tecnologías de bajo impacto, como los humedales artificiales. Es así que teóricamente, el estudio se apoya en fundamentos de procesos naturales de autodepuración que incluye a la biodegradación aeróbica y anaeróbica, también en los ciclos biogeoquímicos que ocurren en la naturaleza como con el nitrógeno, fósforo y carbono, y finalmente en el papel de las plantas macrófitas en la fitodepuración.

La aplicación de los humedales artificiales se basa en modelos teóricos desarrollados por Dotro (2021), que demuestran que estos sistemas replican eficazmente procesos naturales en condiciones controladas, lo que permite remover materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y otros contaminantes.

De esta forma, este estudio contribuye a la teoría sobre el diseño y eficiencia de humedales artificiales para contextos geográficos específicos, en la selva central del Perú, caracterizada por contar con un clima húmedo-tropical, una alta biodiversidad vegetal y una actividad agroindustrial intensiva.

1.5.2. *Justificación práctica*

El tratamiento de aguas residuales generadas por el lavado de jengibre en Pichanaqui significa un desafío urgente a tratar, ya que estas aguas se caracterizan por presentar una elevada carga orgánica, que se reportar son frecuentemente vertidas sin tratamiento al río Perené, generando impactos ambientales significativos (MINAM, 2019). Es así que se justifica la implementación de un sistema de humedales artificiales adaptado a la zona como una solución económica, eficiente y en armonía con el ambiente.

Estos sistemas se justifican en tener un bajo mantenimiento, también pueden construirse con materiales locales y utilizan especies vegetales nativas o adaptadas a la zona geográfica, lo que reduce los costos operativos y mejora la aceptación social (García, 2021). Además, su aplicación fortalece el cumplimiento de normativas ambientales nacionales sobre vertimientos y conservación de cuerpos hídricos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2020).

Es así que la presente investigación tiene potencial de poder replicarse en otras zonas agroindustriales del Perú con características similares, y además puede integrarse en estrategias de gestión ambiental municipal, articulando a la academia con el estado, además de integrar la ciencia, sostenibilidad y desarrollo territorial.

1.6. *Limitaciones de la Investigación*

El presente estudio enfrenta las siguientes limitaciones, en principio con la disponibilidad de datos primarios, ya que la calidad actual del vertimiento requerirá permiso de la empresa para evaluarla en un período específico, los datos históricos de vertimientos de la empresa agroindustrial pueden ser limitados o no estar sistematizados, lo que dificulta caracterizar la carga contaminante a lo largo del año, por ello se solicitaran con debida anticipación. Luego se encuentra el acceso a la zona de estudio, las condiciones geográficas de Pichanaqui (clima tropical húmedo, accesibilidad limitada en época de lluvias) podrían

retrasar el trabajo de campo o la recolección de muestras; es por ello que se evaluará los mejores días para su elaboración; estos factores biológicos y climáticos, como el crecimiento de las especies vegetales seleccionadas como el Arundo donax y Chrysopongo zizanioides (vetiver), los cuales están sujetos a su adaptabilidad a las condiciones específicas del suelo y clima de Pichanaqui, lo que podría afectar los tiempos de establecimiento y eficiencia inicial del sistema. La construcción de un prototipo a escala real podría ser inviable por costos, limitando el estudio a modelos a escala piloto o simulaciones numéricas, por ello, se verá que los materiales utilizados sean de acceso y viables de adquirir en la investigación. Los análisis de laboratorio (turbidez, sólidos suspendidos totales (SST), aceites y grases, conductividad eléctrica y DBO5) dependen de la disponibilidad de equipos en la región, lo que podría requerir el envío de muestras a laboratorios externos, aumentando tiempos y costos; por tal se hará una búsqueda de la mejor opción para análisis en relación al tiempo y costo.

1.7. Justificación de la sostenibilidad del Proyecto

La sostenibilidad del proyecto se fundamenta en tres aspectos importantes: social, económico y ambiental. Desde la perspectiva social, la disminución de los contaminantes que son descargados al río Perené contribuirá a mejorar las condiciones ambientales de las poblaciones ubicadas en las zonas ribereñas de Pichanaqui. Asimismo, la incorporación de especies vegetales como el Arundo donax y Chrysopogon zizanioides, puede favorecer la aceptación del sistema por parte de la población y promover una relación más responsable entre la actividad agroindustrial del jengibre, importante para la economía de Junín, y la conservación de los recursos hídricos. En el aspecto económico, la implementación de humedales artificiales constituye una alternativa con menores requerimientos de inversión y operación en comparación con algunos sistemas convencionales de tratamiento. Esto se debe a que pueden emplearse materiales disponibles localmente, presentan un bajo requerimiento energético y no necesitan una intervención permanente de personal altamente especializado. Estas características permiten considerar su aplicación y posible réplica en otras empresas agroindustriales con condiciones y características productivas semejantes. En cuanto a su sostenibilidad y permanencia, el sistema aprovecha procesos naturales de depuración, entre ellos la biodegradación, los ciclos biogeoquímicos y la acción de las plantas en la absorción y transformación de determinados contaminantes. Estos procesos permiten mantener el funcionamiento del sistema con necesidades relativamente bajas de mantenimiento.

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Quevedo (2021) en su artículo de investigación con el título “Diseño y construcción de humedal artificial para la recuperación de aguas residuales en la población de Alcalá”, que se formuló tal estudio debido a que en la ciudad mencionada existe un grave problema de contaminación por aguas residuales que provienen mayormente de las actividades agropecuarias, que son vertidas sin ser sometidas a ningún tipo de tratamiento. Asimismo, el agua, al ser un recurso esencial para la supervivencia de los seres humanos, animales y plantas, no debe ser desaprovechada. Ante la creciente necesidad de reutilizar este recurso en actividades agrícolas, se vuelve indispensable aplicar un sistema de tratamiento que sea eficiente, económico y ambientalmente sostenible. En este contexto, se propuso el diseño e implementación de un humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial como alternativa biológica para el tratamiento de aguas residuales en la comunidad de Alcalá, utilizando la técnica de fitorremediación. La aplicación de esta tecnología permitió depurar las aguas residuales mediante procesos naturales que involucran la acción de especies vegetales, logrando mejoras significativas en su calidad. Como resultado del tratamiento, se obtuvo un efluente con mayor claridad, libre de olores desagradables y apto, en una primera fase, para su uso en el riego de cultivos forrajeros.

Arévalo (2021) en la tesis de pregrado denominada “Aplicación de humedales artificiales verticales para tratamiento de aguas residuales en Cuenca” llevó a cabo una investigación orientada a analizar el desempeño de humedales artificiales de flujo vertical con diseño tipo francés como alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales en zonas de la región andina. El sistema implementado consistió en una adaptación del modelo francés modificado, el cual incluía una primera etapa conformada por tres unidades de filtración dispuestas en paralelo: dos destinadas al tratamiento de aguas residuales sin pretratamiento y una tercera orientada al tratamiento de lodos. Con el objetivo de evaluar la eficiencia del sistema en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, se realizaron muestreos del efluente y análisis físico-químicos correspondientes. Los resultados permitieron concluir que el sistema presenta una estructura robusta y es apropiado para el tratamiento de este tipo de aguas, mostrando resistencia frente a cargas hidráulicas elevadas y a la variabilidad de las características del afluente, factores que inciden directamente en el comportamiento hidráulico del medio filtrante. Asimismo, se constató que un periodo de operación de ocho meses no resulta suficiente para formar una capa uniforme de lodo en

toda la superficie del humedal. No obstante, durante ese lapso, se evidenció un desarrollo notable de biomasa, lo que refuerza el potencial de estos sistemas en contextos andinos.

Quintero (2021) dentro del artículo de investigación con el título "Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia", describen que las cargas de materia orgánica y nitrógeno en las aguas residuales de instituciones educativas han llevado a la búsqueda de sistemas de depuración eficientes, económicos, es por tal que decidieron evaluar la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas; donde se utilizó Chlorella sp.; en este estudio se empleó como especie vegetal a Heliconia psittacorum en un sistema de humedal artificial alimentado con aguas residuales domésticas provenientes de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Para evaluar su desempeño, se analizaron parámetros como el nitrógeno total Kjeldahl, la Demanda Química de Oxígeno, y la presencia de bacterias nitrificantes y desnitrificantes tanto en la rizosfera como en el sustrato, utilizando la técnica del Número Más Probable (NMP). Los resultados obtenidos indicaron una eficiencia de remoción de materia orgánica que osciló entre el 30 % y el 40 %, una conversión de nitrógeno del 73,4 %, y una disminución en los coliformes totales y fecales del 87 % y 88 %, respectivamente. Estos hallazgos permitieron concluir que el diseño del sistema fue adecuado y contribuyó significativamente a la mejora de la calidad del agua residual tratada.

Romero (2021) en la tesis titulada "Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de humedales artificiales" tuvo como propósito analizar las características de las aguas residuales generadas por el sector textil, identificando aquellos parámetros que, pese a someterse a un tratamiento fisicoquímico con una eficiencia de remoción cercana al 90%, aún superaban los límites establecidos por la Resolución 0631 de 2015 para vertimientos en cuerpos hídricos. Durante el desarrollo de la investigación, se clasificaron los tipos de humedales artificiales empleados en el tratamiento de aguas residuales, destacando los sistemas construidos con macrófitas enraizadas emergentes, macrófitas sumergidas, especies con hojas flotantes, así como los humedales de flujo libre (FL) y aquellos de flujo subsuperficial, los cuales pueden operar bajo un régimen de flujo horizontal o vertical. La propuesta evidenció que incorporar estos sistemas no convencionales en la industria textil permitiría no solo mejorar la calidad de los efluentes, sino también optimizar el uso de recursos mediante un tratamiento más

sostenible. Además, se resaltó que la implementación de humedales artificiales puede representar un valor añadido para el sector al reducir su impacto ambiental, mejorar su imagen frente a la normativa vigente y elevar su competitividad y productividad al minimizar su huella contaminante en los ecosistemas acuáticos.

Villanueva (2022) en su artículo de investigación titulado "Experiencias en la utilización de humedales artificiales para el saneamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones rurales", Se expone que los humedales artificiales aplicados al tratamiento de aguas residuales funcionan como sistemas pasivos de depuración, conformados por cuerpos de agua superficiales —como lagunas o canales con una profundidad menor a un metro— en los que se integran especies vegetales propias de ecosistemas húmedos, especialmente macrófitas. Estos sistemas permiten la eliminación de contaminantes a través de procesos físicos, químicos y biológicos. La presente investigación respalda que, aunque esta tecnología demanda mayores superficies de terreno y tiempos de retención hidráulica más prolongados en comparación con los sistemas convencionales de saneamiento, representa una solución técnicamente factible, económicamente accesible y ambientalmente amigable, particularmente en zonas rurales. En el estudio se analizaron siete sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas que incorporan humedales artificiales, la conductividad eléctrica, el nitrógeno total y el fósforo total. No obstante, también se identificó que la ausencia de un mantenimiento adecuado puede impedir que estos sistemas cumplan con los límites establecidos en la normativa vigente para la descarga de efluentes a cuerpos receptores. Por ello, se remarca la importancia de implementar acciones que garanticen el control microbiológico y promuevan una reutilización segura del agua tratada mediante este tipo de tecnologías naturales.

Castillo (2022) en el artículo titulado "Evaluación de un humedal artificial en el tratamiento de aguas residuales agroindustriales", se planteó como objetivo principal analizar la efectividad de un humedal artificial en el tratamiento de efluentes generados por actividades agroindustriales. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, con un diseño de tipo descriptivo, transversal y de campo. Para ello, se realizaron observaciones directas en el sitio y se aplicaron análisis físicos, químicos y bacteriológicos a las aguas residuales provenientes de un matadero ubicado en el estado Barinas, Venezuela. Posteriormente, se compararon los resultados con los estándares exigidos por la normativa sanitaria y ambiental vigente. Se identificó que el sistema de tratamiento existente incluye siete tanquillas encargadas de recolectar las aguas provenientes del proceso de matanza, las cuales son conducidas hacia un humedal artificial con una superficie de 11,054 m^2 y

profundidad variable. A través del análisis de los parámetros de calidad del agua, se verificó que los niveles obtenidos se encontraban, en general, significativamente por debajo de los límites máximos permitidos por la legislación. Finalmente, se concluyó que este tipo de humedal artificial presenta importantes ventajas operativas para el tratamiento de aguas residuales de origen agroindustrial, ya que no requiere de equipos mecánicos ni eléctricos para su funcionamiento, y logra cumplir adecuadamente con los criterios establecidos por el marco normativo ambiental.

Mandaré (2023) En una tesis titulada "Remoción de los contaminantes de aguas agroindustriales a través de humedal artificial de flujo superficial con *Cyperus laevigatus L. y Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey.) Sojak", se planteó como objetivo principal evaluar la eficiencia de un humedal artificial de flujo superficial en la depuración de aguas residuales agroindustriales, utilizando las especies vegetales *Cyperus laevigatus y Schoenoplectus californicus.* Para ello, se diseñó un sistema de tratamiento con una densidad de plantación de 50 ejemplares por metro cuadrado y tiempos de retención hidráulica (TRH) de 11, 22, 33 y 44 días. Durante el estudio se analizaron diversos parámetros fisicoquímicos, entre ellos: conductividad eléctrica (CE), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y sólidos suspendidos totales (SST), además de registrar la tasa de crecimiento relativo de las macrófitas. Los resultados indicaron que *S. californicus* fue especialmente eficaz en la remoción de CE (57,62 %) y SST (58,62 %) al día 44, mientras que C. *laevigatus* mostró una mayor eficiencia en la reducción de NT (90,13 %) y PT (37,14 %). Se concluyó que *Cyperus laevigatus* presentó un mejor desempeño en la eliminación de nutrientes a 44 días de exposición, además de una mayor adaptación a las condiciones del agua residual agroindustrial, lo cual se reflejó en su desarrollo vegetativo. Por ello, se considera que esta especie podría ser más adecuada para garantizar la sostenibilidad en sistemas de humedales artificiales destinados al tratamiento de nutrientes.

Gallardo (2024) dentro del artículo científico titulado "Depuración de aguas residuales de una industria láctea por medio de humedales artificiales de totora *(Typha dominguensis)*" aborda la importancia del agua como un recurso indispensable para la vida en el planeta, esencial para la salud, la producción agrícola, la actividad industrial y el equilibrio de los ecosistemas. Dado el creciente interés por la sostenibilidad ambiental, resulta fundamental que el sector agroindustrial adopte prácticas más responsables, priorizando métodos de producción que minimicen su impacto ecológico. En este contexto, el estudio tuvo como finalidad evaluar la capacidad de los humedales artificiales, especialmente aquellos

plantados con Schoenoplectus, conocida como totora *(Typha dominguensis),* para disminuir los niveles de contaminantes presentes en las aguas residuales generadas por la industria láctea. La investigación se llevó a cabo en la empresa "El Batán", ubicada en la provincia de Chimborazo, Ecuador, mediante un experimento de laboratorio con una duración de 60 días, en el cual se realizaron mediciones en intervalos de 15, 30, 45 y 60 días. Los análisis de laboratorio permitieron observar una reducción progresiva de contaminantes en el agua residual, destacando la efectividad de la totora *(Typha dominguensis)* como agente fitorremediador. Los resultados obtenidos evidencian que el uso de esta planta en humedales artificiales representa una alternativa eficiente y ecológica para el tratamiento de aguas residuales, ya que no solo reduce costos operativos y de mantenimiento, sino que también contribuye a la conservación del medio ambiente.

2.1.2. *Antecedentes Nacionales*

Rubio y Montenegro (2018) en la tesis titulada "Implementación de un Humedal Artificial para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales, Batallón de Servicios N°300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín", se plantea una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales generadas en la base contraterrorista de Rioja. Para evaluar la eficiencia del sistema propuesto, se recolectaron muestras en dos puntos estratégicos: el primero en el ingreso del humedal artificial (agua pretratada) y el segundo en el egreso del mismo (agua tratada). El estudio se enfocó en el comportamiento de la especie herbácea Juncus, cuya capacidad radica en el desarrollo de comunidades bacterianas en sus raíces, las cuales favorecen procesos de metabolización de compuestos nitrogenados y materia orgánica. Esta interacción biológica contribuyó significativamente a la remoción de contaminantes. Los resultados mostraron una eficiencia de eliminación del 98,15 % para la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO_5) y del 89,13 % para los Sólidos Suspendidos Totales (SST). De esta manera, se comprobó que los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal, utilizando Juncus, constituyen una solución eficaz para la recuperación de aguas residuales domésticas. Además, durante el funcionamiento del sistema, no se registraron problemas de malos olores, encharcamiento ni proliferación de vectores en la superficie del humedal.

Ramírez y Mogollón (2020) en la tesis de investigación con el título “Diseño hidráulico, constructivo y ambiental de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas”, describe el diseño hidráulico, constructivo y ambiental de los humedales artificiales de flujo sub superficial de tipo horizontal como mecanismo para el tratamiento

de aguas residuales domésticas, de modo tal que se pueda adaptar en las viviendas rurales del distrito de Buenos Aires, ubicado en la provincia de Morropón en la región Piura, que tiene un clima subtropical con temperaturas entre 25 y 38 ºC. Como metodología se elaboró un análisis de contenido de tres investigaciones experimentales sobre humedales artificiales de flujo sub superficial tipo horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas ejecutados en comunidades rurales con climas subtropicales con el propósito de determinar sus características. Los resultados obtenidos han demostrado que los sistemas de flujo sub superficial de tipo horizontal son los que mejor funcionamiento tienen, debido al análisis de costo eficiencia, y aun cuando este sistema requiere de áreas de mayor extensión, es factible su implementación por la eficiencia en remoción de demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos y nitrógeno, que permitirá el reuso del agua tratada en actividades agropecuarias. Finalmente, mediante una matriz de categorización se describen las características hidráulicas, constructivas y ambientales de este sistema.

Joaquín (2021) para la tesis de titulación “Diseño de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales en Chacapampa, Huancayo” En este estudio se aplicó una metodología de tipo aplicada, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y nivel descriptivo-explicativo. Las muestras de aguas residuales fueron recolectadas directamente de viviendas ubicadas en el distrito de Chacapampa y posteriormente analizadas en laboratorio, lo que permitió evaluar la eficacia del tratamiento mediante humedales naturales. Los resultados mostraron que el caudal de diseño respaldó la viabilidad del humedal artificial como solución para el tratamiento de aguas residuales, particularmente en la medición del caudal, la cual se efectuó siguiendo una serie de pasos, entre ellos, el cálculo de la tasa de crecimiento poblacional y la proyección de población futura, que estimó un total de 1368 habitantes. A partir de estos análisis, se concluyó que el humedal artificial de Chacapampa es eficaz para estabilizar los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua residual doméstica. Asimismo, el investigador destacó que, en comparación con una planta convencional de tratamiento de aguas residuales, el sistema basado en humedales representa una opción más económica y ambientalmente sostenible, aunque ambos métodos logran una remoción significativa de contaminantes.

Ticona (2024) en la tesis titulada “Diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno”, se identificó una elevada presencia de contaminación ambiental en la región de Puno, lo que motivó la elaboración de una propuesta orientada a mitigar dicha problemática mediante el diseño de un sistema

de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales (HATAS). Esta propuesta se fundamentó en una revisión sistemática de distintas tipologías de humedales artificiales y en la evaluación de especies vegetales potencialmente adecuadas para su implementación en el mencionado centro poblado. Aplicando un enfoque metodológico mixto con diseño descriptivo, el estudio realizó un análisis comparativo de las ventajas y limitaciones de diversos tipos de humedales, así como de combinaciones de sustratos y vegetación. Entre las especies vegetales con mayores tasas de remoción de contaminantes químicos se identificaron: *Typha dominguensis* (94–98%), *Chrysopogon zizanioides* (86–90%), *Juncus sp.* (75–80%), *Phragmites australis* (70–90%) y *Cyperus papyrus* (50–56%). Finalmente, se seleccionaron especies como *Juncus sp*., la totora *(Typha, Phragmites)* por su eficiencia en procesos de depuración. Como resultado, se propuso un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HAFSH) como el sistema más adecuado para esta localidad, capaz de alcanzar eficiencias superiores al 80% en la remoción de la DBO_5 y un 60% en sólidos suspendidos totales, manteniendo un pH neutro, temperatura promedio de 15 °C y sin presencia de olores ofensivos. Este tipo de humedal combina vegetación, sustrato y microorganismos de forma efectiva, y ha sido probado con buenos resultados en diversos contextos internacionales, destacando por su capacidad de mejorar la calidad de las aguas residuales domésticas, haciéndolas aptas para el riego agrícola y promoviendo una solución sostenible para las comunidades rurales.

2.1.3. *Antecedentes Locales*

Camizan y Zapata (2022) en la tesis de grado titulada “Revisión sistemática: aguas residuales y su tratamiento ecotegnológico con humedales artificiales (CWs) en el sector acuícola”, que se realizó una revisión sistemática de 25 publicaciones científicas, de las cuales se seleccionaron 19 que cumplían con los criterios establecidos. Los estudios fueron organizados en categorías principales: aditivos, tipos de humedales y especies vegetales, junto con sus respectivas subcategorías, de acuerdo con la matriz de categorización empleada. Entre los principales aditivos identificados como fuentes de carbono para mejorar la desnitrificación en aguas residuales de origen acuícola se encuentran los plásticos biodegradables, restos de mazorca de maíz (*Zea mays*) y residuos de pescado, los cuales favorecen la eliminación de compuestos contaminantes. En cuanto a los sistemas de tratamiento, se determinó que los humedales artificiales más aplicados en los estudios son los subsuperficiales de flujo horizontal y vertical, debido a que proporcionan condiciones favorables para la actividad bacteriana encargada de degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Respecto a la vegetación utilizada, se concluyó que *Phragmites*

australis es una de las especies más eficientes para la remoción de fósforo, seguida de *Typha latifolia*, destacándose también *Canna* indica por su capacidad de reducir concentraciones de nitrógeno y fósforo. Además, se evidenció que el uso combinado de distintas especies vegetales en los humedales contribuye significativamente a una mayor eficiencia en la depuración de contaminantes.

Rojas (2023) dentro del articulo científico denominado "Remoción de Contaminantes en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial: Una Revisión", que conto el objetivo de analizar las últimas perspectivas sobre los humedales artificiales de flujo subsuperficial, los que utilizan diferentes metodologías para el tratamiento de efluentes contaminados. Con el propósito de cumplir el objetivo planteado, se llevó a cabo una revisión bibliográfica utilizando criterios de búsqueda basados en palabras clave, abarcando el periodo comprendido entre 2015 y 2021. Se analizaron aproximadamente 60 investigaciones vinculadas a humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, poniendo especial énfasis en los procesos involucrados en la eliminación de contaminantes. A partir de los resultados revisados, se concluyó que los humedales artificiales (HA) constituyen una alternativa efectiva para el tratamiento de aguas residuales con elevadas cargas de materia orgánica y nutrientes. Su eficacia radica principalmente en la actividad de comunidades microbianas que interactúan con la vegetación acuática presente en el sistema. Asimismo, se evidenció que la elección de especies vegetales influye directamente en los niveles de remoción de contaminantes. Adicionalmente, se destacó que la eliminación eficiente de elementos como nitrógeno, fósforo y azufre contribuye de manera significativa a mitigar fenómenos como la eutrofización y el deterioro de la calidad del agua en cuerpos receptores. Por ello, se resalta la importancia de una adecuada selección del medio filtrante, la consideración de variables ambientales y el seguimiento constante de parámetros críticos para asegurar un desempeño óptimo del sistema.

Fernández (2024) en el artículo con el título "Evaluación vegetativa para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales "Vinaza" por medio de humedales construidos", donde se evaluó el uso de cuatro variedades de plantas: *Canna indica, Heliconia latispatha, Canna discolor* y *Arundo donax,* en la depuración de vinaza proveniente de la industria alcoholera durante 10 meses de estudio, en el estudio establecieron por duplicado de unidades de humedales híbridos, cuatro tratamientos diluyendo la vinaza con agua a concentraciones del 10%, 20%, 30% y 50%. Se sembraron cuatro individuos de cada especie por humedal en sustrato de graba volcánica roja, se evaluó el desarrollo mediante la altura (cm), hojas e hijuelos y sobrevivencia por conteo. El estudio concluyo que la

vegetación de Canna indica fue la única que pudo adaptarse y sobrevivir, se desarrolló alrededor de 110 cm, sin embargo, tuvo una mortandad casi del 40% que fue necesaria irla remplazando, las que sobrevivieron presentaron hijuelos adaptados y en desarrollo. La Canna indica puede ser utilizada en el tratamiento de la Vinaza, pero requiere proceso de adaptación.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Humedales

Los humedales naturales engloban todas las regiones que experimentan inundaciones de manera temporal o permanente, ya sea con agua dulce o salada, y cuya flora se ha adaptado para prosperar en suelos saturados. Estos ecosistemas ribereños cumplen la función de sumideros de nutrientes para el escurrimiento provenientes de áreas elevadas, estableciéndose como esenciales amortiguadores entre tierras de cultivo, cursos de agua, entre otros (Vymazal, 2022).

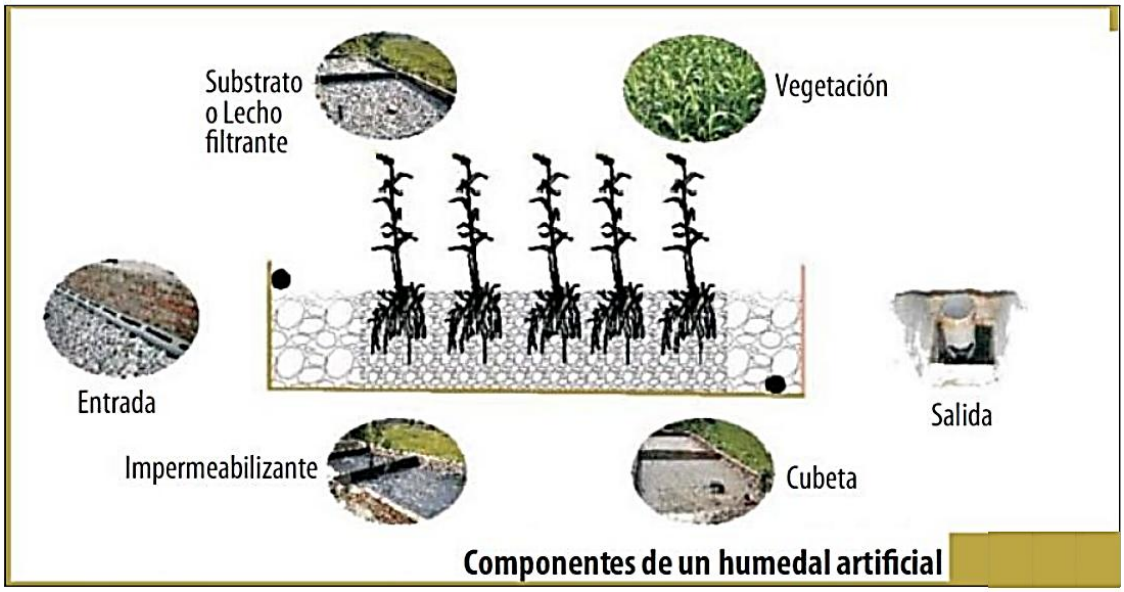
Este tipo de ecosistema se distingue por representar una zona de transición entre ambientes terrestres y acuáticos. Comúnmente, se localiza en áreas inundables de llanuras, próximas a cuerpos de agua como ríos, lagos o zonas costeras. No obstante, algunos humedales también pueden encontrarse de forma aislada, dependiendo en su mayoría del aporte hídrico proveniente de fuentes subterráneas.

2.2.1.1. Humedales Artificiales

Los humedales artificiales, construidos por el ser humano, se clasifican en dos categorías principales: humedales de flujo libre, que involucran sistemas de plantas flotantes sin restricciones, y humedales subterráneos, que incluyen sistemas de plantas con raíces. Así mismo los humedales subterráneos se subdividen en sistemas de flujo horizontal y sistemas de flujo vertical (Arteaga, 2019).

Los humedales superficiales o de flujo libre se refieren a estanques o corrientes de agua donde la superficie del agua está directamente expuesta a la atmósfera y alberga plantas macrófitas (Arteaga, 2019). A continuación, se muestra los componentes de humedal artificial como cubeta, sustrato o lecho filtrante, vegetación, membrana impermeabilizante y estructuras de entrada y salida.

Figura 1.
Componentes de un humedal artificial



Nota. Adaptado de Rodriguez, 2020 .

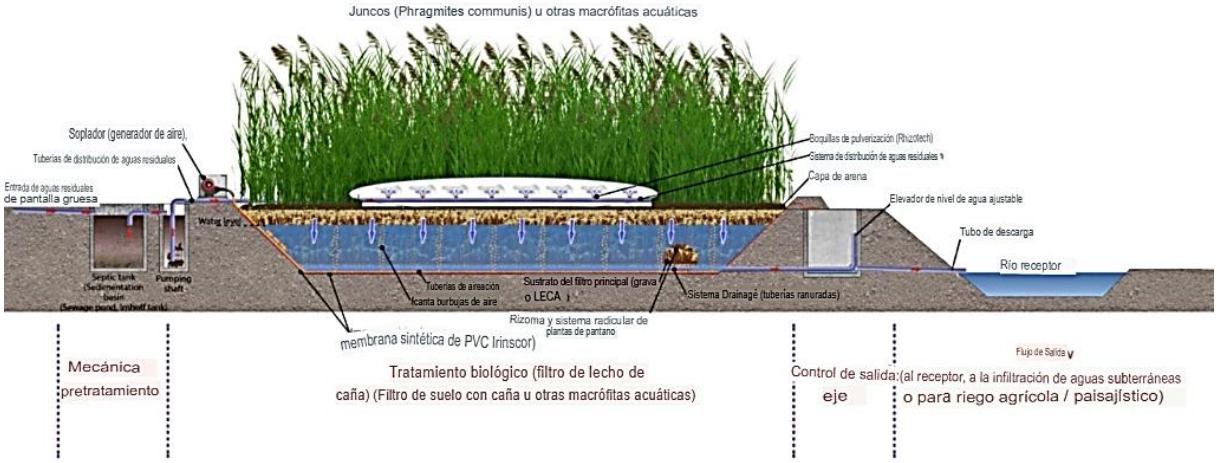
La estructura del humedal consiste en una cubeta excavada que es rellenada con un material permeable, usualmente compuesto por roca, grava, arena y suelo. El nivel del agua se controla para mantenerse por debajo de la superficie del sustrato, lo que permite generar un flujo subsuperficial. Este sustrato cumple la función de soporte para el desarrollo de raíces de especies de vegetación emergente, las cuales se implantan sobre la capa superior del mismo (PNUD, 2018).

Según lo señalado por organismos internacionales como las Naciones Unidas, los humedales artificiales son infraestructuras diseñadas por el ser humano que replican, bajo condiciones controladas, los procesos de depuración que ocurren de forma natural en los humedales. Estos sistemas integran procesos físicos, biológicos y químicos que favorecen la remoción de contaminantes contenidos en aguas residuales. Al incorporar especies vegetales, microorganismos y sustratos adaptados a las características específicas del agua, los humedales artificiales ofrecen una solución ambientalmente sostenible. Esta interacción entre componentes permite una limpieza eficiente, disminuyendo de manera notable la carga de materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, sólidos suspendidos y, en algunos casos, hasta compuestos nocivos (PNUD, 2018).

El carácter artificial de estos humedales se determina por su construcción controlada, la cual incluye el confinamiento físico del sistema mediante excavación mecánica y la impermeabilización de la base para evitar infiltraciones hacia el subsuelo. Además, se

utilizan sustratos distintos al suelo natural para facilitar el enraizamiento de la vegetación, y se realiza una selección específica de las especies vegetales que serán introducidas en el humedal (Toledo, 2023).

Figura 2.
Partes de un humedal artificial

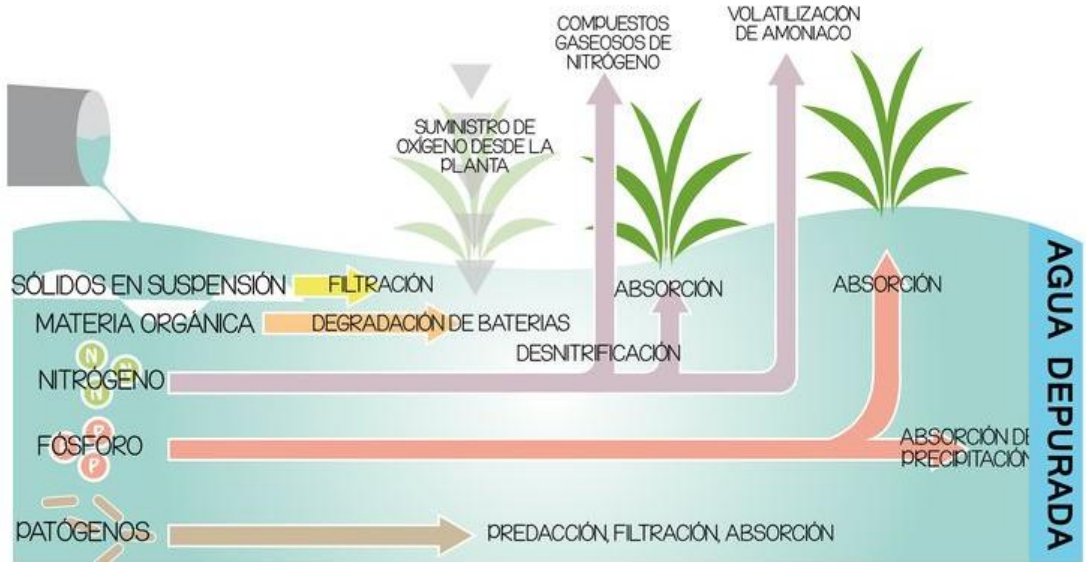


Nota. Adaptado de Salas, 2021 .

Estos sistemas de humedales están conformados, en su estructura básica, por una tubería de ingreso que permite el paso del agua residual (influente) hacia el interior del sistema. Una vez dentro, el agua atraviesa el sustrato, el cual cumple una doble función: por un lado, proporciona soporte físico para el crecimiento de la vegetación, y por otro, facilita la adhesión de comunidades microbianas en forma de biopelícula, las cuales intervienen de manera crucial en los procesos de depuración del agua (Salas, 2021).

Asimismo, es fundamental incorporar una barrera impermeable que impida la migración del agua hacia áreas no deseadas. Esta lámina actúa como un recubrimiento del sustrato, evitando filtraciones al suelo circundante. Una vez que el agua atraviesa el sistema de tratamiento, fluye hacia una tubería de salida, desde donde se recoge ya libre de contaminantes, lo que evidencia que el efluente ha sido adecuadamente depurado.

Figura 3.
Mecanismos de remoción de contaminantes



Nota. La remoción de los contaminantes dentro de los humedales se logra por medio de varios procesos físicos, químicos y biológicos, adaptado de Paimed, 2021 .

Tabla 1.
Mecanismos de remoción de contaminantes en humedales artificiales

Componentes de las Aguas Residuales	**Mecanismos de Remoción**
Sólidos en suspensión (SST)	– Sedimentación/Floculación – Filtración/intercepción
Orgánicos solubles	– Degradación microbiana aeróbica – Degradación microbiana anaeróbica
Fósforo(P)	– Procesos físicos como la filtración, intercepción, floculación, sedimentación. – Procesos de sorción (biopelículas) – Asimilación vegetal
Nitrógeno(N)	– Procesos físicos filtración, intercepción, floculación, sedimentación. – Procesos de sorción (biopelículas) – Nitrificación – Desnitrificación – Asimilación vegetal – Volatilización
Metales	– Absorción e intercambio catiónico

Patógenos	– Precipitación – Absorción por la planta – Oxidación/reducción microbiana – Decaimiento natural – Predación – Sedimentación – Excreción de antibióticos por parte de las raíces de las plantas – Irradiación UV

Nota. Adaptado de Valencia, 2020 .

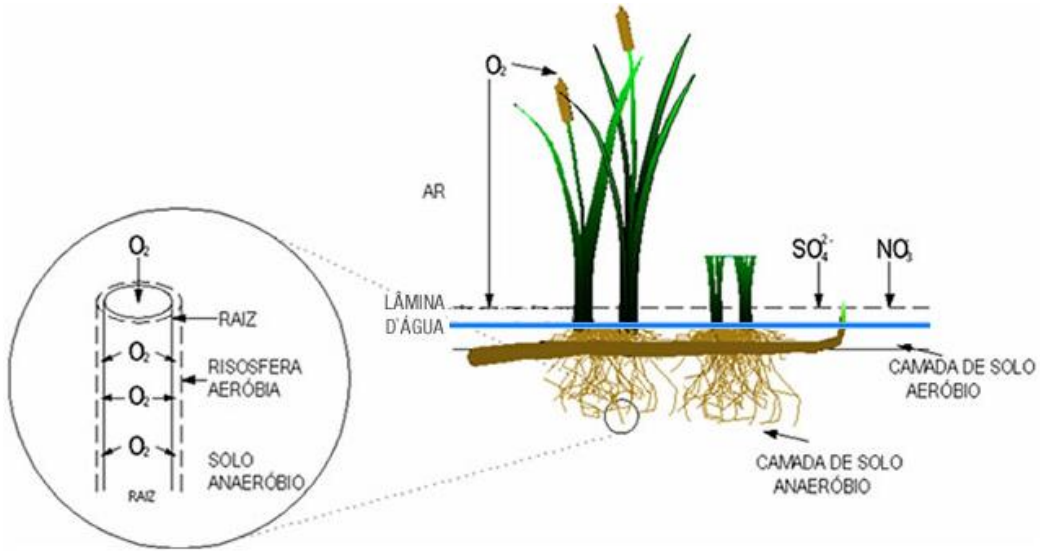
Tanto los materiales sólidos en suspensión como aquellos que se han depositado y no fueron retirados durante el tratamiento primario, pueden ser eficientemente capturados en el humedal artificial gracias a los procesos de filtración y sedimentación. Estas partículas tienden a asentarse en pequeñas zonas de baja turbulencia o son desplazadas debido a variaciones controladas en el flujo hidráulico.

Por otro lado, la actividad microbiana desempeña un rol esencial en la eliminación de compuestos orgánicos disueltos, tanto a través de microorganismos que flotan libremente como aquellos que se adhieren a los sustratos. Estos compuestos son degradados por vía biológica, especialmente mediante procesos aeróbicos que requieren la presencia de oxígeno disuelto en el medio (PNUD, 2018).

En la siguiente figura se describe que la vegetación desempeña un papel fundamental ya que tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces, este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación.

Figura 4.

Transferencia de oxígeno (O2)



Nota. Adaptado de Delgadillo, 2020 .

2.2.2. Funciones de los Humedales

Para Ingrao (2020) los humedales desempeñan múltiples funciones ecológicas y poseen valores que son reconocidos por la sociedad. Las funciones hacen referencia a los procesos naturales que ocurren dentro de estos ecosistemas, mientras que los valores representan los beneficios que las personas asocian a ellos. Aunque no todos los humedales presentan todas estas funciones y beneficios al mismo tiempo, la mayoría cumple con al menos varios de estos criterios. En contextos adecuados, los humedales construidos pueden ofrecer:

- Mejora en la calidad del agua tratada.
- Regulación de inundaciones mediante el almacenamiento temporal del agua y la disminución del flujo de escorrentía.
- Participación en el ciclo de nutrientes y otros compuestos.
- Provisión de hábitats para diversas especies de fauna, especialmente peces y aves silvestres.
- Espacios para actividades recreativas pasivas, como la observación de aves o la fotografía de la naturaleza.
- Escenarios para actividades recreativas activas, como la caza regulada.
- Oportunidades para el desarrollo de actividades educativas y científicas.
- Aportes al valor estético del paisaje y su embellecimiento visual.

2.2.3. Elementos de los sistemas de humedales artificiales

2.2.3.1. Matriz de soporte de humedales

En los humedales construidos, el uso de materiales como grava, arena o suelo forma una matriz estructural esencial, cuya función principal es brindar soporte y estabilidad al sistema radicular de la vegetación. Esta zona radicular constituye un área de alta actividad microbiana, donde se llevan a cabo importantes procesos de transformación de los contaminantes presentes en el agua residual. Diversas investigaciones indican que las raíces suelen alcanzar profundidades de entre 50 y 60 cm.

Adicionalmente, la matriz proporciona una superficie extra para el desarrollo de comunidades microbianas distintas a las que colonizan directamente las raíces, como las biopelículas con composición diferente. La capacidad de retención de esta matriz depende de las propiedades físico-químicas del material utilizado, desempeñando un papel clave en el intercambio de nutrientes, especialmente en los procesos de sorción y liberación (desorción). Los diseños más recientes de humedales artificiales sugieren recubrir el medio de soporte con capas de materiales que presenten una mayor eficiencia en la adsorción y fijación de compuestos, especialmente con el fin de potenciar la remoción de fósforo presente en el flujo de aguas residuales (Gao, 2022).

Desde el enfoque del diseño, la selección del material que conforma la matriz del humedal se realiza considerando su capacidad para proporcionar un tiempo de retención hidráulica (TRH) adecuado y una conductividad hidráulica eficiente. Ambos factores son fundamentales en los sistemas de humedales, ya que determinan el comportamiento del flujo del agua, influyendo directamente en la eficacia del tratamiento y en la tasa de remoción de contaminantes a medida que el agua atraviesa el sistema. El TRH se refiere al tiempo promedio que el agua permanece dentro del humedal, lo cual es crucial para que se desarrollen las reacciones biogeoquímicas que eliminan los contaminantes. Estas reacciones requieren un contacto suficiente entre los contaminantes y los microorganismos presentes en la zona de raíces. Además, los procesos de sedimentación dependen estrechamente de la velocidad del flujo del agua (Wei, 2025)

Por su parte, la conductividad hidráulica describe cómo se desplaza el agua a través de los espacios porosos del medio de grava o suelo. Se recomienda utilizar sustratos con alta conductividad hidráulica, ya que una baja permeabilidad puede generar problemas de obstrucción en el sistema y, en consecuencia, disminuir su eficiencia operativa (Wei 2025).

2.2.3.2. Vegetación en humedales artificiales

Las raíces de las plantas utilizadas en los humedales construidos se desarrollan sobre una base de sustrato conformada por suelo o grava, la cual les brinda soporte estructural. Dentro de estas especies, las más empleadas son las halófitas, ya que presentan una notable adaptación a ambientes con condiciones anaeróbicas y saturadas de agua. Estas plantas toleran entornos con bajos niveles de potencial redox, los cuales pueden verse afectados por la presencia de compuestos tóxicos como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) (Armstrong, 2000).

La capacidad de los halófitos para resistir dichos entornos se debe a su estructura anatómica y funciones fisiológicas especializadas. Un ejemplo clave es el aerénquima, un tejido presente en sus raíces que facilita la conducción de oxígeno, permitiendo su liberación parcial hacia el sustrato circundante. Este proceso es fundamental para introducir oxígeno en las zonas del humedal donde normalmente prevalecen condiciones anóxicas. La cantidad de oxígeno que difunde desde las raíces y el tamaño de la zona oxidada que se forma alrededor de ellas dependen de varios factores, como la especie vegetal, su tasa de liberación de oxígeno, la disponibilidad de luz y la intensidad de la fotosíntesis (Armstrong, 2000).

Tabla 2.
Especies vegetales recomendadas

Especie	Ventajas	Eficiencia reportada
Typha domingensis (Totora)	Tolerancia a pH ácido, alta absorción de nutrientes	Remoción DBO_5: 85-90% (Mandaré, 2023)
Scirpus californicus	Adaptación a suelos inundados, rápido crecimiento	(Rubio & Montenegro, 2018)
Junco palustre (*Eleocharis palustris*)		
Heliconia psittacorum (Bijao)	Resistencia a materia orgánica, nativa de selva central	Remoción Total: 70% (Quintero, 2021)
Cyperus papyrus (Papiro)	Alto rendimiento en climas húmedos	Remoción SST: 60-65% (Camizan & Zapata, 2022)
Typha domingensis (Enea, espadaña)	Común en zonas tropicales del Perú y alta producción de biomasa.	Muy utilizada en humedales artificiales por su resistencia y capacidad de remoción de DBO_5 y nutrientes.
Eichhornia crassipes (jacinto de agua o taruya)	Flotante, de rápido crecimiento, útil para sistemas de flujo superficial.	Alta eficiencia en la absorción de nutrientes y metales.

Nota. Elaboración propia

2.2.3.3. Comunidad microbiana de humedales

A medida que el agua circula por el humedal artificial, atraviesa zonas con distintas condiciones de potencial redox, lo cual ocurre principalmente a nivel microscópico. En las zonas adyacentes a las raíces de las plantas, las condiciones tienden a ser más oxigenadas en comparación con aquellas áreas donde hay menor presencia o ausencia de raíces. Esta distribución espacial de zonas oxicadas y anóxicas en cercanía a las raíces se debe, en gran parte, a la capacidad de las macrófitas para transportar oxígeno hacia la rizosfera, lo cual influye directamente en la configuración de las comunidades microbianas. Esta particularidad permite la coexistencia de organismos aeróbicos y anaeróbicos en un espacio reducido (Gulam, 2024).

Sin este mecanismo, los microorganismos que requieren oxígeno no podrían sobrevivir en entornos dominados por la ausencia de este gas. Estas comunidades microbianas habitan dentro de estructuras conocidas como biopelículas, las cuales son capas formadas por asociaciones microbianas envueltas en una matriz viscosa compuesta por polímeros que los mismos microorganismos secretan (Penesyan, 2021). Se ha observado que especies aeróbicas, como las bacterias nitrificantes, tienden a formar biopelículas en la superficie de las raíces, donde la concentración de oxígeno es más alta. En contraste, los microorganismos anaerobios, como los reductores de sulfato, prefieren asentarse en zonas más alejadas de las raíces, como en la grava o en partes envejecidas y lignificadas de las raíces, donde el oxígeno ya no está disponible. Según Ma (2020), los microorganismos aeróbicos se encuentran mayormente en la columna de agua, en las capas superficiales de los detritos vegetales y en los biofilms del perifiton, mientras que los anaerobios predominan en biopelículas ubicadas en partículas del suelo, como la grava, o en los espacios entre estas, especialmente en la zona más profunda del humedal.

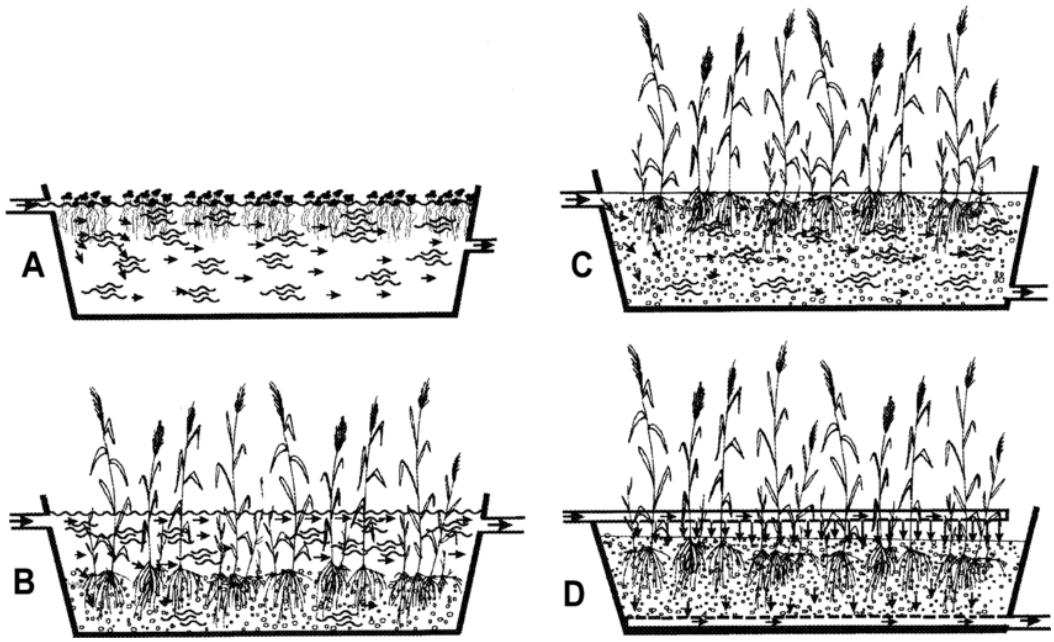
La composición y abundancia de estas comunidades microbianas está influenciada por el tipo de humedal artificial. Estudios aplicados a sistemas en funcionamiento han confirmado esta variabilidad microbiana. Por ello, se recomienda permitir un periodo adecuado de estabilización y adaptación, tanto para las plantas como para los microorganismos del sistema, durante la fase inicial de operación (Penesyan, 2021).

2.2.3.4. Aspectos tecnológicos

A lo largo del tiempo, el conocimiento adquirido respecto a cómo los contaminantes pueden ser eliminados a través de la interacción natural entre el agua, las plantas y los suelos ha facilitado el desarrollo intencionado de sistemas que imitan estos procesos. Esta comprensión ha impulsado tanto la implementación de estos sistemas en entornos naturales como la construcción de estructuras artificiales que replican tales dinámicas en distintos grados de naturalidad. Stefanakis (2020) describe que estos sistemas pueden agruparse en tres tipos principales. Los humedales artificiales que se basan en el uso del suelo se clasifican del siguiente modo:

- Humedales de flujo superficial horizontal, donde el agua residual circula sobre la superficie del sustrato.
- Humedales de flujo subsuperficial horizontal, en los que el agua se desplaza por debajo del nivel del suelo.
- Humedales de flujo vertical, los cuales pueden tener configuraciones que permiten el movimiento del agua de forma descendente o ascendente, ya sea de manera continua o con carga intermitente.

Figura 5.
Sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales



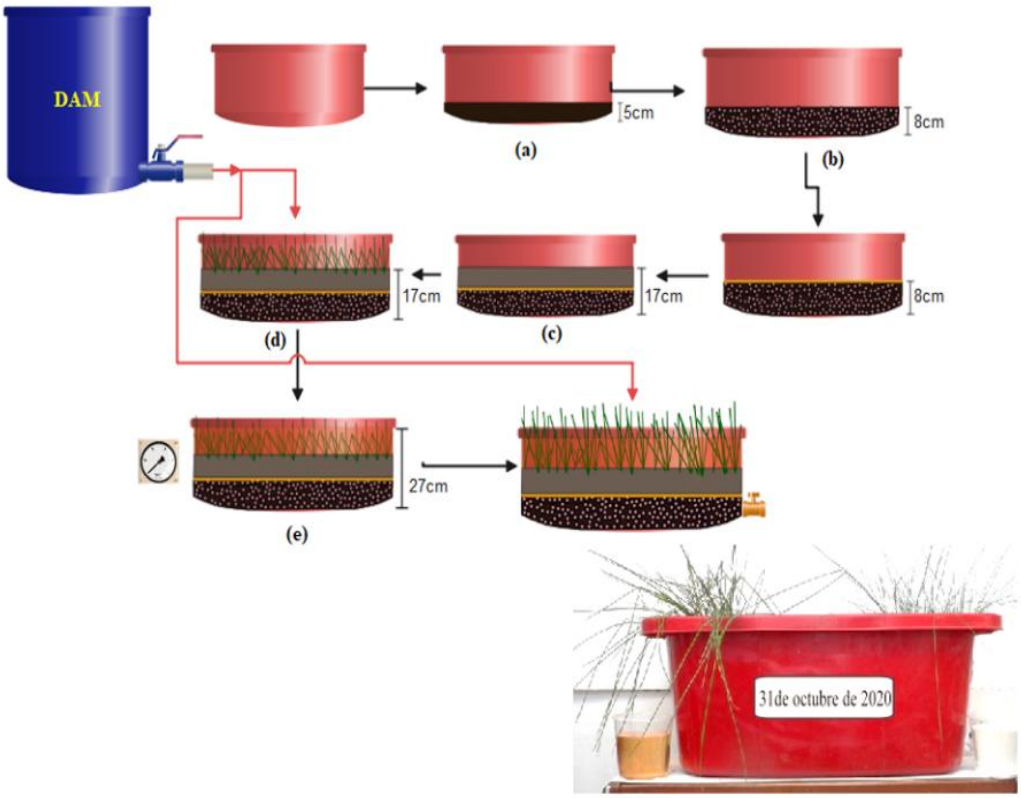
Nota. Se muestra: A, estanque con plantas flotantes; B, Humedal artificial de flujo superficial horizontal o estanque con plantas acuáticas de tipo emergentes; C, sistema compuesto por humedal de flujo subterráneo horizontal; D, Humedal de flujo vertical

humedal. Adaptado de Stottmeister (2024).

Según estudios como el de Arizábal y Vanny (2018) el sistema de flujo subsuperficial horizontal es el más apropiado para aguas residuales con alta carga orgánica, como las agroindustriales, por su bajo mantenimiento, alta eficiencia y capacidad para evitar la generación de olores.

Es así que un ejemplo piloto a escala laboratorio que puede construirse se muestra en la figura a continuación.

Figura 6.
Diseño a escala piloto de humedal artificial



Nota. Adaptado de Vergaray, 2022 .

2.2.4. Aguas residuales

2.2.4.1. Calidad de aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas cuyo estado natural ha sido alterado como consecuencia directa de diversas actividades humanas, y que, debido a su composición contaminante, requieren ser tratadas antes de poder ser reutilizadas o dispuestas de forma segura. Este tipo de aguas pierde sus características originales, ya que incorporan una amplia gama de sustancias físicas, químicas y biológicas durante su uso en actividades domésticas,

industriales, agrícolas o institucionales. Estas aguas suelen ser descargadas sin tratamiento previo en cuerpos naturales como ríos, lagos, mares o incluso en los sistemas de alcantarillado, lo que representa un riesgo considerable para la salud pública y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos. Su origen puede encontrarse en viviendas particulares, edificios comerciales, instituciones educativas, hospitales, industrias manufactureras, granjas y otras fuentes relacionadas con las actividades productivas y de consumo humano (OEFA, 2014).

En cuanto a su composición, las aguas residuales presentan una gran diversidad de contaminantes. A nivel doméstico, suelen contener grasas, detergentes, restos de alimentos, excretas y productos de limpieza. En el ámbito industrial y agropecuario, se incorporan residuos como materia orgánica degradable, metales pesados, hidrocarburos, pesticidas, fertilizantes, antibióticos y otras sustancias tóxicas. Esta combinación convierte a las aguas residuales en un foco potencial de contaminación tanto para el ambiente como para los seres vivos si no se gestionan adecuadamente. Por esta razón, el tratamiento de aguas residuales ha cobrado relevancia en las últimas décadas, especialmente en contextos donde el recurso hídrico es limitado y el crecimiento urbano e industrial exige soluciones sostenibles. Entre las tecnologías aplicadas para su depuración se encuentran los humedales artificiales, los cuales, mediante procesos físicos, químicos y biológicos, permiten una remoción eficaz de los contaminantes presentes, facilitando así su reúso o disposición final segura (OEFA, 2014).

2.2.4.2. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales generadas por actividades industriales presentan una alta variabilidad tanto en su caudal como en la concentración y tipo de contaminantes. Debido a esta diversidad, no es posible establecer valores constantes para sus componentes. Estas aguas pueden contener sustancias en estado coloidal, suspendido o disuelto, y mostrar características químicas extremas, como acidez o alcalinidad pronunciadas, así como tonalidades diversas. Los contaminantes presentes pueden ser de origen orgánico, inorgánico o incluso incluir compuestos tóxicos, entre ellos microorganismos patógenos. Su vertido al sistema de alcantarillado está permitido únicamente si no generan impactos negativos sobre la infraestructura ni sobre los procesos de tratamiento posteriores (Pinheiro, 2019).

2.2.4.3. Aguas residuales agroindustriales

La agroindustria desempeña un rol fundamental en la cadena de suministro de alimentos y forrajes, así como en la generación de diversas materias primas. Entre los productos más representativos de este sector se encuentran el azúcar y el alcohol derivados de la caña de azúcar, la harina y el almidón provenientes de la yuca, los cereales procesados para obtener harinas y etanol, los aceites extraídos de semillas oleaginosas como la palma y la soya, los productos lácteos, y la carne resultante del procesamiento de ganado bovino, porcino y aves de corral (United States Department of Agriculture, 2020).

Estas actividades requieren un uso intensivo de recursos naturales, principalmente suelo, energía y agua, lo cual conlleva la generación significativa de residuos sólidos y líquidos. Las aguas residuales provenientes de procesos agroindustriales suelen contener altas concentraciones de materia orgánica, además de compuestos potencialmente tóxicos, incluyendo metales pesados, lo que representa una amenaza directa para la calidad del agua, el suelo y la atmósfera (Ferreira, 2021).

Debido a su elevado potencial contaminante y capacidad para inducir procesos de eutrofización, estos efluentes deben ser sometidos a tratamientos físico-químicos y biológicos antes de ser descargados al entorno natural, con el fin de minimizar su impacto ambiental (Ferreira, 2021).

2.2.5. Contaminación

El termino implica la introducción de sustancias o elementos físicos en un entorno que los hace inadecuados o inseguros. Un contaminante puede ser químico, luz o calor, y el medio ambiente puede ser un ecosistema o un organismo (Fundación Aquae, 2023).

Partiendo de lo anterior, Galarza (2020) señalan que la contaminación ambiental se refiere a la introducción de agentes físicos, químicos o biológicos en el entorno, ya sea de forma individual o combinada, los cuales se presentan en distintos lugares, formas y concentraciones. Estos elementos pueden generar impactos negativos tanto en la salud de la población como en los ecosistemas, afectando la flora y fauna, o bien dificultando el uso adecuado de los recursos naturales y espacios destinados a actividades recreativas o productivas.

2.2.6. Teoría del Medio Ambiente

La etapa iniciada con la revolución industrial marcó el inicio de un proceso progresivo de deterioro ambiental que, actualmente, parece difícil de revertir. Algunos estudiosos

consideran que esta transformación podría ser uno de los factores determinantes en el daño irreversible al planeta. En este contexto, se plantea que los seres humanos deben trabajar hacia una relación armónica y sostenible con la naturaleza. Para ello, las instituciones deben comprometerse a implementar políticas ambientales que integren tanto acciones cotidianas como el uso de tecnologías limpias y métodos de producción sustentables. Desde una perspectiva lingüística, el término "medio ambiente", aunque redundante, hace referencia no solo al espacio físico donde se desenvuelven los seres humanos, sino también al entorno compartido con otros organismos, incluyendo el agua, el aire, el suelo y sus interacciones. De acuerdo con la Real Academia Española, el "medio" o "ambiente" es el conjunto de condiciones físicas y químicas que influyen directamente en el desarrollo y supervivencia de los seres vivos. Desde el punto de vista biológico Jaquenod de Zsogon conceptualiza al medio ambiente como síntesis histórica de la interrelación entre la sociedad y la naturaleza en un tiempo y espacio determinado (Linazasoro, 2012).

Barreiro plantea que el medio ambiente es un grupo de condiciones sociales, naturales y artificiales que son capaces de influenciar en la existencia del ser humano (Rimoli, 2024).

La autora Andía Chávez define el medio ambiente como un conjunto de elementos naturales que posibilitan la existencia y el desarrollo de seres vivos en un espacio y tiempo determinados, donde como resultado de la interacción es la creación de nuevas especies que interviene en la subsistencia de los seres humanos (Lopez, 2023).

Para Tapia el medio ambiente es dinámico, esto es que se encuentra en transformación constante producida naturalmente o por los seres humanos. Es una estructura de procesos materiales y agentes socioeconómicos e históricos en un tiempo y espacio establecidos (Lopez, 2023).

En este sentido, el medio ambiente puede entenderse como un sistema que provee múltiples recursos y servicios esenciales para la vida humana y de otras especies. Este entorno facilita, por ejemplo, la movilidad, el acceso a materias primas necesarias para la alimentación y la elaboración de vestimenta, además de ser el hábitat de una gran diversidad de flora y fauna. Por ello, resulta indispensable reconocer la estrecha interdependencia entre los seres humanos y la naturaleza, ya que la supervivencia de nuestra especie depende directamente del uso racional y sostenible de los recursos naturales.

Entre las problemáticas ambientales más significativas que enfrenta el planeta en la actualidad se destacan tres:

- El calentamiento global, que implica un aumento sostenido de la temperatura media terrestre debido, principalmente, a las emisiones de gases de efecto invernadero.
- La reducción de la capa de ozono, la cual actúa como escudo frente a los rayos ultravioleta solares, pero que ha sido deteriorada por compuestos como los clorofluorocarbonos (CFCs).
- La deforestación, que altera el equilibrio entre los organismos que consumen oxígeno y aquellos que absorben dióxido de carbono, afectando directamente los ciclos ecológicos.

En este contexto, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) trabaja activamente en la promoción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), fomentando el respeto por los derechos humanos, la equidad de género y la lucha contra el cambio climático. Este organismo busca apoyar a los países, incluyendo el nuestro, mediante el fortalecimiento institucional y el desarrollo de políticas y prácticas ambientales eficaces en todos los niveles de gobierno. Sus ejes de acción se estructuran en cinco áreas temáticas clave.

- Cambio climático
- Financiamiento ambiental
- Biodiversidad
- Desertificación
- Calidad ambiental.

2.2.7. **Totora (*Typha dominguensis*)**

Es una planta perenne de tipo emergente, que crece en regiones templadas del hemisferio norte, así como en Sudáfrica, América y Australia. De acuerdo con diversas fuentes científicas, esta especie es especialmente eficaz en ambientes con altas concentraciones de materia orgánica y nitrógeno amoniacal. Se caracteriza por producir una gran cantidad de biomasa, tener propiedades térmicas apropiadas y ser resistente a metales pesados. Además, no es una planta invasora y emite bajos niveles de metano. En los humedales artificiales de flujo subsuperficial, la

especie Typha domingensis es la más empleada en países de América Central y del Sur

2.2.8. Agroindustria del jengibre en Junín

En los últimos años, el jengibre ha pasado a ocupar un lugar destacado dentro de los productos agroexportables de la región Junín, posicionándose junto con el café como uno de los cultivos más representativos de la canasta exportadora. Solo en el año 2023, las exportaciones de jengibre alcanzaron un valor aproximado de 127 millones de dólares, según señaló César Cárdenas Vancard, presidente de Proginger, una asociación recientemente creada que agrupa a 37 empresas ubicadas en Pichanaqui. Estas compañías se dedican a los distintos procesos postcosecha necesarios para preparar el jengibre antes de su envío al exterior. Pichanaqui, distrito perteneciente a Chanchamayo, se ha consolidado como el principal núcleo de producción de este cultivo. Desde allí se exporta más del 90% del jengibre con destino a mercados como Estados Unidos, Canadá y Europa. No obstante, estas actividades también enfrentan el desafío de incorporar prácticas que aseguren la sostenibilidad ambiental (Salomé, 2024).

Durante el año 2024, Perú alcanzó el tercer lugar a nivel mundial en exportaciones de jengibre, con un valor de envíos cercano a los 105 millones de dólares, siendo superado únicamente por China (733 millones de dólares) y los Países Bajos (154.8 millones), según datos proporcionados por la Asociación de Exportadores (ADEX). La región Junín es responsable del 85% de la producción nacional, lo que la posiciona como el principal impulsor del desarrollo de este cultivo en el país. Edgar Vásquez, director del Centro de Investigación en Economía y Negocios Globales de ADEX, señaló que el total de exportaciones de jengibre en 2023 alcanzó los 118 millones de dólares, de los cuales la mayoría tuvo origen en Junín. Además, mencionó que la exportación de cúrcuma, que anteriormente no existía, llegó a los 7.7 millones de dólares, representando un crecimiento del 38.5%. Vásquez también enfatizó que el mercado internacional actual exige productos sostenibles, con condiciones laborales formales, certificaciones y prácticas agrícolas responsables. Destacó, además, que el jengibre peruano posee el potencial de consolidarse como un producto no solo destacado, sino constante en los mercados globales. Como parte de los esfuerzos para fortalecer esta cadena productiva, ADEX y Proginger organizaron la quinta edición del Ginger Week en Satipo, reuniendo a más de 15 ponentes nacionales e internacionales. Este evento estuvo dirigido a diversos actores del sector, como productores, exportadores,

empresas logísticas, laboratorios, entidades financieras y autoridades, con el objetivo de tratar temas vinculados a sanidad vegetal, acceso a mercados, competitividad y sostenibilidad (Rojas, 2025).

2.2.9. Agroindustria del lavado de jengibre

Actualmente, el cultivo del jengibre o jengibre se realiza a gran escala, siendo destinado principalmente a usos culinarios, farmacéuticos y también al comercio en forma de jengibre seco, ya sea entero o molido. Esta planta se adapta mejor a climas tropicales y subtropicales, caracterizados por temperaturas cálidas, elevada humedad y exposición directa al sol. No se desarrolla bien en suelos arcillosos, mostrando un mejor rendimiento en terrenos arenosos ricos en materia orgánica. Entre los principales países productores destacan China, India, Jamaica y Brasil. La reproducción del cultivo se lleva a cabo mediante la selección de rizomas de buena calidad, los cuales se cortan dejando al menos dos yemas u "ojos". La siembra se realiza con una separación de 30 centímetros entre surcos y a una profundidad que no debe superar los 7 centímetros. Para sembrar una hectárea se requiere aproximadamente 500 kilogramos de rizomas. El momento adecuado para la cosecha se identifica cuando la parte aérea de la planta comienza a tomar un color amarillento, lo que suele suceder unos ocho meses después de la siembra, tras la etapa de floración. Es importante no retrasar la cosecha, ya que los rizomas podrían volverse duros y con una textura similar al corcho (Salazar, 2022).

El proceso se describe a continuación antes de ser comercializado, el jengibre atraviesa diversas etapas que incluyen la cosecha, el transporte y el almacenamiento, durante las cuales puede entrar en contacto con tierra, polvo y otros residuos. Por ello, el proceso de lavado resulta esencial no solo para remover estas impurezas, sino también para eliminar posibles residuos de pesticidas o sustancias químicas empleadas durante su cultivo. Una limpieza adecuada es clave para asegurar tanto la calidad como la inocuidad del producto, haciéndolo seguro para el consumo humano.

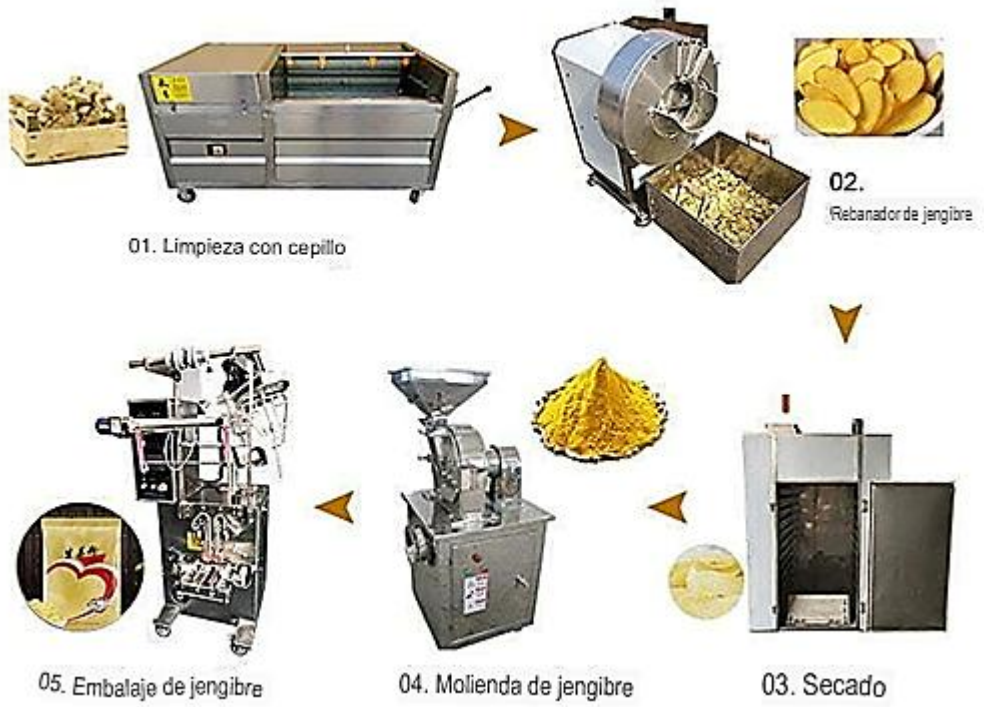
En el centro del sistema de procesamiento del jengibre se encuentra la máquina lavadora-peladora, un equipo diseñado para realizar simultáneamente las tareas de limpieza y remoción de la piel externa. Un ejemplo es el modelo CY800, por ejemplo, posee dimensiones de 1580x850x800 mm, un peso de 180 kg y una potencia operativa de 1,1 kW. Esta máquina puede procesar hasta 700 kg de

jengibre por hora, lo que la convierte en una herramienta eficiente para operaciones a escala comercial.

Su funcionamiento es sencillo: el jengibre se introduce en el equipo, donde se inicia el proceso de lavado mediante chorros de agua a alta presión que eliminan la suciedad adherida. De manera simultánea, el sistema pelador retira la capa superficial del rizoma, dejando el jengibre limpio y listo para su procesamiento final o para ser envasado (Wang, 2023).

A continuación, en la siguiente figura, se describe un procesamiento de jengibre estándar en empresas agroexportadoras, o empresas agroindustriales.

Figura 7.
Procesamiento de Jengibre



Nota. Adaptado de Refulio, 2018 .

2.2.10. Marco Normativo

a. La Constitución Política de Perú de 1993.

Todos los individuos poseen el derecho a mantenerse en un adecuado ambiente, además, este debe ser equilibrado que les permita a las personas perseguir sus intereses, según la Constitución Política del Perú, artículo 2 y párrafo 22 (Ministerio de Justicia y Derechos Humanos , 2022).

b. Ley Orgánica de los Municipios N.º 27972

Artículo 73.- Materia de Competencia Municipal

Está indicando la conservación y preservación ambiental adecuando lineamientos generales técnicos de acuerdo al ordenamiento del contexto físico y la utilización del suelo (El Peruano, 2003).

Artículo 80.- Salubridad, saneamiento y salud.

Función concreta simultáneas en relación con los municipios municipales: La función principal de los municipios provinciales en la administración y reglamentación directa o espacial de los servicios de agua para permitida para consumo humano, desagüe, alcantarillado, aseo y manejo de los desechos sólidos (El Peruano, 2003).

Función delimitada propia de las municipalidades distritales:

Una de ellas es el servicio de limpieza pública. Otros son la identificación de los lugares y sitios donde tienden a acumularse los RS, el mantenimiento de vertederos higiénicos y el uso de la basura en entornos industriales, además es importante que las funciones mencionadas son únicas por parte de los municipios (El Peruano, 2003).

La regulación y el control de la higiene, la limpieza y la salud en los edificios residenciales y comerciales, así como en otras zonas públicas con tráfico de personas, es otro deber único por parte de los municipios (El Peruano, 2003).

c. Ley General del Ambiente N.º 28611

Artículo 74º.- De la responsabilidad general

De acuerdo con el artículo 74 de la Ley General del Medio Ambiente, todo operador tiene la responsabilidad directa por los efluentes, emisiones y cualquier impacto negativo que sus actividades puedan generar sobre el entorno natural, la salud de las personas y los recursos ambientales. Esta obligación implica asumir las consecuencias derivadas del funcionamiento de sus procesos productivos o de operación. Nos informa de que la culpabilidad se define como la creación de peligros y daños ambientales por acción u omisión de los daños ambientales y riesgos (El Peruano, 2017).

Artículo 75º.- Del manejo integral y prevención en la fuente

En el artículo mencionado el titular de las operaciones debe siempre adoptar medidas preventivas y/o correctivas, así como medidas para la conservación buscando siempre la protección ambiental, teniendo en cuenta el significado del ciclo de vida de los servicios

o bienes que provea, de cumplimiento con los principios que están establecidos en el título preliminar de la ley (El Peruano, 2017).

Artículo 76º.- De los sistemas de gestión ambiental y mejora continua.

El gobierno nos indica que son los sistemas de gestión ambiental ya que mediante este se promueve que las empresas adopten medidas y sistemas de gestión acordes a sus operaciones, con esto se quiere lograr una mejora continua del desempeño ambiental (El Peruano, 2017).

Artículo 77º.- De la promoción de la producción limpia

En el artículo 77 nos habla sobre la producción limpia en la cual las autoridades tanto locales, regionales o nacionales buscan promover mediante algunas acciones normativas, fomentando incentivos, difusiones, capacitaciones para lograr una fabricación más respetuosa con el medio ambiente en la creación de iniciativas de inversión y esfuerzos empresariales en general (El Peruano, 2017).

Artículo 78º.- De la responsabilidad social de la empresa

El gobierno peruano fomenta, facilita y difunde adhesión de forma voluntaria de políticas y buenas prácticas, además de mecanismos de responsabilidad social de las empresas y establecimiento un buen ambiente de trabajo (El Peruano, 2017).

Artículo 79º.- De la promoción de normas voluntarias

Los gremios y organizaciones empresariales junto con el estado promueven, elaboración y adopción de normas voluntarios para mejorar su desempeño ambiental, dentro de la normativa vigente (El Peruano, 2017).

Artículo 83º.- Del control de materiales y sustancias peligrosas

La legislación exige a las empresas que tomen medidas para regular de la mejor manera posible los productos químicos y las sustancias peligrosas producidas por sus operaciones, así como para controlar, evitar y luego mitigar los efectos adversos sobre el medio ambiente que puedan tener estas operaciones y/o su generación (El Peruano, 2017).

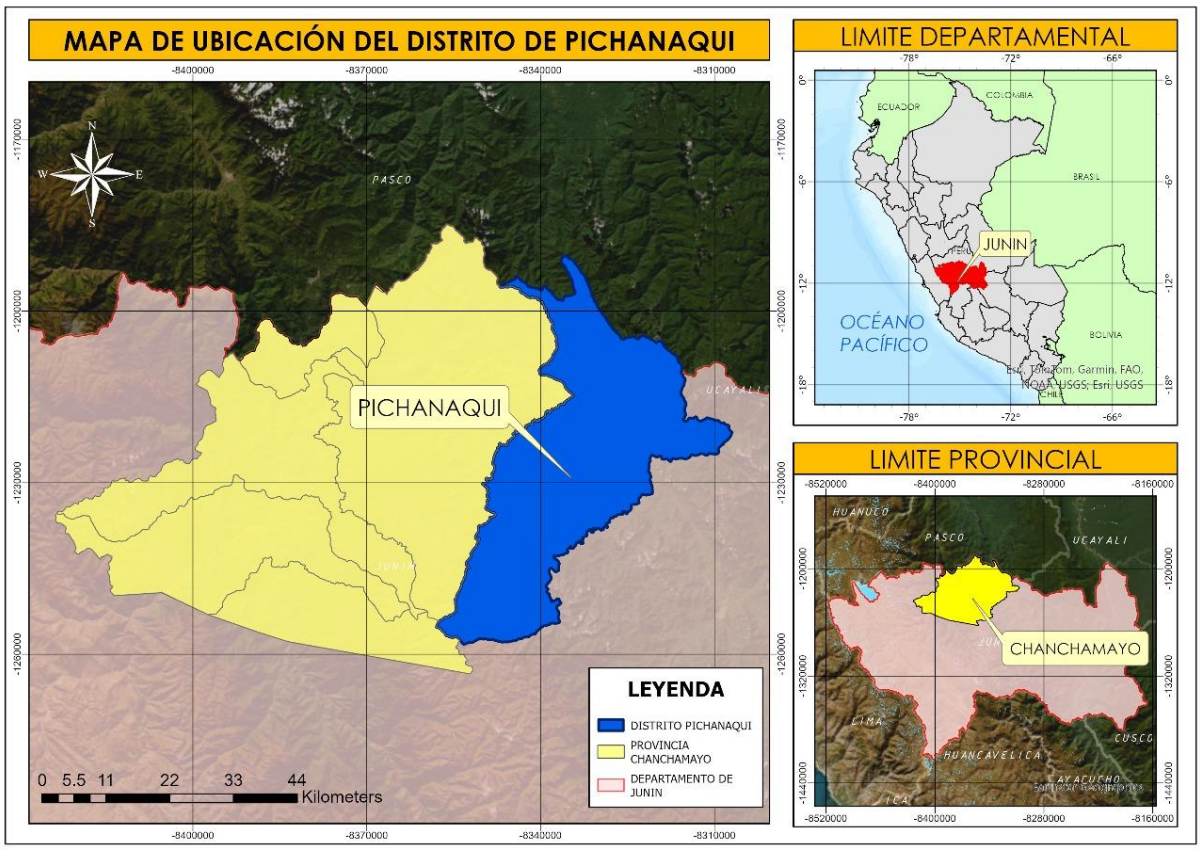
El estado peruano adopta algunas medidas de sanción y control, incentivo para asegurar la manipulación, uso y manejo adecuado de las sustancias y materiales peligrosos, cualquier sea origen o destino a fin de prevenir daños a personal, salud y/o el ambiente (El Peruano, 2017).

III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito

El estudio se desarrolló en el distrito de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo, región Junín, focalizado en la cuenca baja del río Perené, donde se ubican las descargas de aguas residuales de una empresa agroindustrial dedicada al lavado de jengibre (jengibre). Esta zona se caracteriza por presentar un clima tropical húmedo, con precipitaciones anuales superiores a 1,500 mm y una temperatura promedio cercana a 24 °C, condiciones que fueron consideradas para la selección del sistema de humedal artificial y de las especies vegetales empleadas. La investigación se llevó a cabo durante el periodo comprendido entre junio y octubre de 2025, coincidiendo con la época de menor precipitación en la zona, con la finalidad de reducir la influencia de la dilución por lluvias sobre la calidad del agua evaluada. Temáticamente, el estudio se enmarcó en la aplicación de tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales mediante humedales artificiales, incorporando además criterios técnicos y normativos relacionados con la gestión ambiental de los recursos hídricos.

Figura 8.
Mapa de Pichanaqui



Nota. Elaboración propia

3.2. Nivel, tipo y diseño de investigación

3.2.1. Nivel de la Investigación

La investigación correspondió al nivel explicativo, debido a que no solo describió las características fisicoquímicas del agua residual agroindustrial, sino que además evaluó el comportamiento de dichas variables antes y después de la implementación del sistema de humedales artificiales, permitiendo explicar los cambios observados en los parámetros de calidad del agua. Asimismo, se analizó la eficiencia del sistema en la remoción de contaminantes como sólidos suspendidos totales, turbidez, conductividad eléctrica, aceites y grasas, contribuyendo a comprender el funcionamiento de la tecnología propuesta (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2014).

3.2.2. Tipo de la Investigación

La investigación fue de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a la solución de un problema ambiental específico relacionado con el tratamiento de aguas residuales agroindustriales generadas por el lavado de jengibre. En ese sentido, se desarrolló y evaluó una alternativa tecnológica basada en humedales artificiales con potencial de aplicación práctica en condiciones similares a las de la zona de estudio.

3.2.3. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación fue cuasiexperimental, debido a que se implementó un sistema piloto de humedal artificial y se evaluó su efecto sobre la calidad del agua residual mediante mediciones realizadas antes y después del tratamiento. La variable independiente estuvo representada por el sistema de humedal artificial diseñado con especies vegetales seleccionadas, mientras que la variable dependiente correspondió a los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua.

Este diseño permitió comparar los resultados obtenidos en ambas condiciones y evaluar el desempeño del sistema sin la conformación de grupos aleatorios o grupos de control, característica propia de los diseños experimentales puros (Hernandez & Mendoza, 2019).

Esquema del diseño:

$$\mathbf{O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2}$$

Donde:

O_1: Caracterización inicial del agua residual.

X: Implementación del sistema piloto de humedal artificial.

O_2: Evaluación de la calidad del agua después del tratamiento.

3.3. Población y selección de muestra

3.3.1. Población

La población fue conformada por las aguas residuales agroindustriales generadas durante las actividades de lavado y procesamiento de jengibre en la empresa agroindustrial objeto de estudio, específicamente aquellas descargadas hacia la cuenca del río Perené.

3.3.2. Muestra

La muestra fue constituida por el agua residual recolectada en el punto de descarga de la empresa agroindustrial. Se realizaron campañas de muestreo tanto antes como después de la implementación del sistema de humedal artificial piloto.

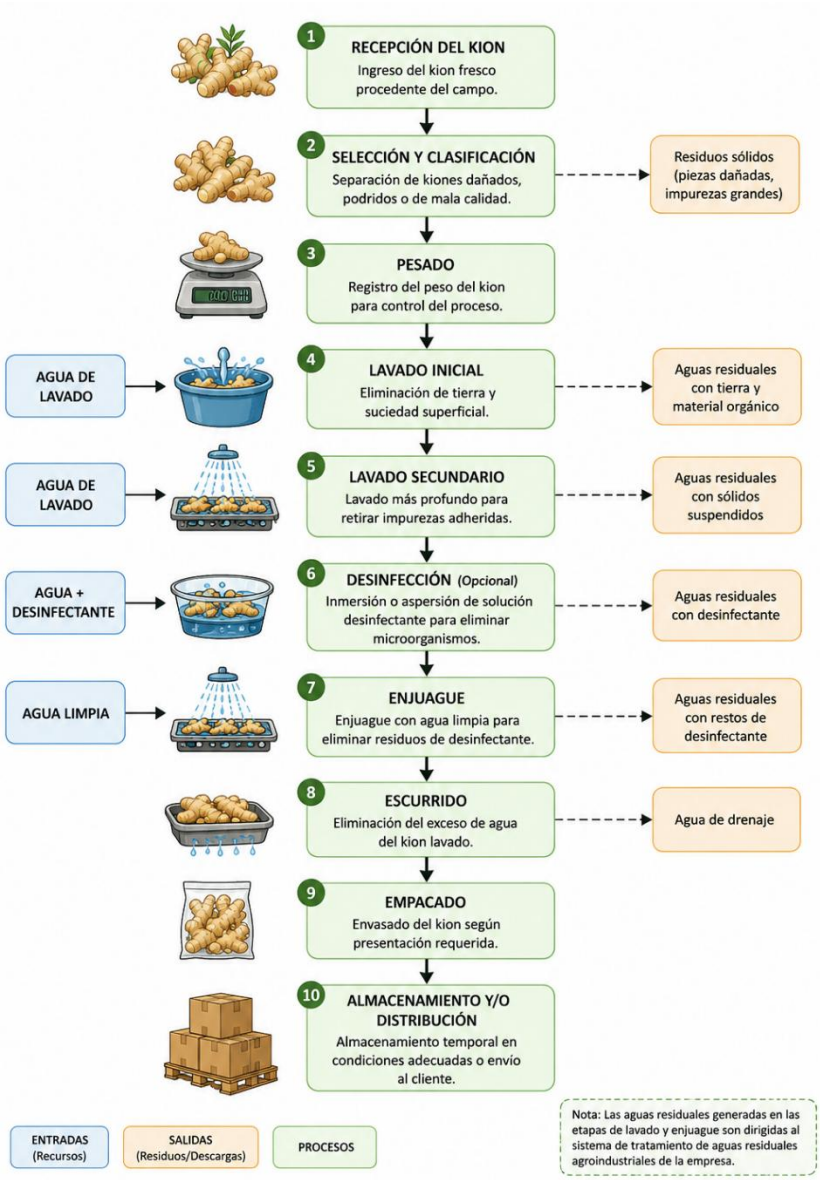
Para la caracterización inicial se efectuaron dos campañas de muestreo con muestras representativas del efluente crudo. Posteriormente, para la evaluación del sistema se realizaron tres campañas de muestreo del agua tratada. Las muestras fueron recolectadas siguiendo criterios de muestreo compuesto y analizadas para la determinación de parámetros como pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas.

La selección de la muestra fue de tipo no probabilística por conveniencia, debido a que se trabajó directamente con el punto de descarga representativo del proceso agroindustrial evaluado.

Con el propósito de comprender el origen y las características de las aguas residuales evaluadas, se describió el proceso de lavado y procesamiento del jengibre desarrollado en la empresa agroindustrial. Como se observa en la Figura 9, las operaciones de lavado constituyen las principales fuentes de generación de efluentes con carga de sólidos y materia orgánica, los cuales fueron considerados para el diseño y evaluación del sistema de humedales artificiales propuesto.

Figura 9.

Flujograma del proceso de lavado y procesamiento del jengibre (Zingiber officinale) en la empresa agroindustrial



La Figura 9 presenta el proceso de lavado y procesamiento del jengibre desarrollado en la empresa agroindustrial, desde la recepción de la materia prima hasta su almacenamiento y distribución. Se observa que las etapas de lavado inicial, lavado secundario, desinfección y enjuague son las principales generadoras de aguas residuales, las cuales contienen tierra, restos vegetales, sólidos suspendidos, materia orgánica y, eventualmente, residuos de desinfectantes. Estos efluentes constituyen la fuente de agua residual evaluada en la presente investigación y justifican la necesidad de implementar un sistema de humedales artificiales que permita mejorar su calidad antes de su descarga hacia la cuenca del río Perené.

3.4. Procedimientos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Determinación la calidad actual del agua de la cuenca del río Perené según parámetros de DBO_5, sólidos suspendidos totales, turbidez, aceites y grasas

Para evaluar la calidad actual del agua superficial del río Perené, se realizó un monitoreo sistemático basado en el protocolo establecido por el Ministerio del Ambiente para cuerpos hídricos naturales "Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales" (Autoridad Nacional del Agua, 2016). Se aplicará una técnica de muestreo única, utilizando botella de polietileno. Luego se realizó una preservación o conservación de muestras a 4°C con H_2SO_4 (para DBO_5) y refrigeración inmediata, según Norma APHA (American Public Health Association, 2017).

Los parámetros analizados fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), solidos suspendidos totales, aceites y grasas, los cuales serán determinados mediante análisis en laboratorio certificado al que se enviarán la muestras para su análisis, conforme a los métodos estándares del American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF).

- DBO_5: Método de incubación de 5 días (5210B).
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): Método gravimétrico por filtración y secado a 103–105 °C (2540D).
- Aceites y Grasas: Método de extracción con disolvente y determinación gravimétrica (5520B).

Este diagnóstico estableció la línea base de contaminación orgánica del cuerpo receptor y permitirá medir la eficiencia del sistema de tratamiento propuesto.

b. Análisis sistemático de los tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado

Se efectuó una revisión documental de investigaciones científicas, tesis universitarias y manuales técnicos sobre tecnologías de humedales artificiales. Esto mediante revisión sistemática que involucre un análisis de 30 estudios (2019-2025) en Scopus y SciELO usando palabras clave: "constructed wetlands", "agro-industrial wastewater", "tropical climate".

Luego de tal revisión se hizo una comparación de eficiencia, costos y adaptabilidad climática mediante matriz de decisiones.

Se compararon los sistemas de flujo superficial, flujo subsuperficial horizontal (HFSSH) y vertical, valorando criterios como eficiencia de remoción de DBO_5, adaptación climática, requerimientos de operación y costos.

Es así que la técnica es el metaanálisis de tasas de remoción (DBO_5) en humedales: Flujo subsuperficial horizontal (SSFH), flujo vertical (FV), híbridos y los instrumentos a ocuparse para el cumplimiento del objetivo son VOSviewer para el mapeo bibliométrico y una plantilla de evaluación en Excel.

c. Análisis de especies vegetales de humedales artificiales adaptadas en Pichanaqui

Para ello en un principio se realizó un inventario florístico, que describa la identificación de especies nativas en humedales naturales de Pichanaqui tomando en cuenta información dada por SERFOR-Junín.

Posteriormente se evaluaron las especies macrófitas que se desarrollen en condiciones tropicales y sean nativas o adaptadas al distrito de Pichanaqui, como las mostradas en la tabla a continuación, considerando su capacidad de tolerancia a contaminantes y su eficacia en la remoción de materia orgánica y nutrientes.

La técnica utilizada fue la revisión bibliográfica de estudios realizados en condiciones climáticas similares específicamente en la selva central. Además, se utilizó criterios de selección como crecimiento rápido, tolerancia al anegamiento, capacidad de regeneración y eficiencia fitorremediadora, tomando como referencia trabajos y experiencias locales reportadas en tesis peruanas.

Una vez identificada la especie se procedió a extraerla en cantidad para uso del proceso metodológico, se alistará bolsas de plástico para el recojo de las plantas junto con sus raíces, se alistará botas, musleras, guantes y gorro entre otros Equipos de Protección Personal (EPP).

Se generó dos tablas en las cual se recopiló lo siguiente, con las tablas mejor expuestas en anexos:

Modelo para el metaanálisis de tasas de remoción en humedales:

- Nº
- Autor(es) / Año
- Tipo de humedal (FS, HFSSH, FV, híbrido)
- País / Clima

- Parámetro evaluado
- DBO_5 (%)
- Observaciones

Modelo para la revisión bibliográfica y mapeo

- Nº
- Autor(es) / Año
- Título del estudio
- Base de datos (Scopus/SciELO)
- Palabras clave
- Tipo de documento (artículo / tesis / manual)
- Relevancia (Alta / Media / Baja)

d. Propuesta de un diseño técnico del sistema de humedales artificiales

Después de haber analizado los artículos seleccionados, se procedió a realizar el diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales, la propuesta de diseño técnico se fundamentará en los principios de ingeniería y ecotecnología. Se empleó fórmulas empíricas basadas en la carga hidráulica y carga orgánica de entrada, siguiendo el modelo (Dotro, y otros, 2021), con adaptación al contexto tropical húmedo de Pichanaqui.

Se inició con un cálculo de carga contaminante:

- Caudal diario (m^3/día), según datos proporcionado por la empresa agroindustrial.
- Carga orgánica: DBO_5 en mg/L

Los parámetros de diseño incluyeron:

a. Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)

$$TRH = \frac{n\,.\,d\,.\,A}{Q}$$

Donde:

- TRH = Tiempo de retención hidráulico (días)
- n = Porosidad del medio filtrante (usualmente entre 0.3 y 0.4 para grava)
- d = Profundidad del lecho (m), comúnmente entre 0.4–0.6 m
- A = Área del humedal (m^2)

- Q = Caudal diario de ingreso (m^3/día)

El TRH típico para humedales de flujo subsuperficial está entre 3 y 7 días, dependiendo de la carga orgánica.

b. Área del humedal (calculada por fórmula de remoción de DBO_5)

$$A = \frac{Q \,.\, ln.(\frac{Ci}{Ce})}{k_t}$$

Donde:

- A = Área del humedal (m^2)
- Q = Caudal diario de agua residual (m^3/día)
- Ci = Concentración de entrada del parámetro (mg/L)
- Ce = Concentración de salida deseada (mg/L)
- kt = Constante de tasa de remoción (m/día), varía según el parámetro

Esta ecuación puede aplicarse tanto para DBO_5. En la práctica, se toma el valor más exigente para definir el área total.

c. Profundidad del lecho (30–60 cm)

Para definir el largo (L) y ancho (W) del humedal, se utiliza

$$L = \frac{A}{W}$$

La relación de aspecto recomendada por Kadlec y Knight (2021) es entre 2:1 y 4:1, por lo que se prefiere que el largo del humedal sea al menos el doble del ancho para mejorar la eficiencia del flujo horizontal.

d. Composición del sustrato (grava, arena, suelo orgánico)

El medio filtrante se compuso de grava fina (diámetro 10–25 mm), arena gruesa y suelo orgánico. Este tipo de sustrato proporciona soporte a las raíces, buena porosidad y facilita los procesos de filtración física, adsorción y acción microbiológica.

Es así que técnica utilizada fue también adecuarse a un diseño CAD (AutoCAD) para planos técnicos, y el instrumento serán plantillas de diseño para humedales SSFH, además de utilizar Excel y AutoCAD Civil 3D para dimensionamiento y modelado esquemático del humedal.

Es así que, con el fin de validar la eficacia de remoción proyectada en el diseño a escala real, se implementará un humedal artificial a pequeña escala en condiciones controladas

(laboratorio) donde se trabajará con aguas residuales reales provenientes del proceso de lavado de jengibre.

Este humedal piloto permitió:

- Evaluar experimentalmente la capacidad de remoción de DBO_5 y estabilización del pH.
- Observar el comportamiento de especies vegetales seleccionadas, por ejemplo, totora (*Typha dominguensis*), Junco palustre (*Eleocharis palustris*), palustre (*Eleocharis palustris)*, *Aundo Donax*, entre otras.
- Comprobar la eficacia del sistema en condiciones locales antes de escalar el diseño.

Se construirán una unidad experimental de humedal con dimensiones reducidas (de 0.5 m x 0.3 m x 0.3 m) en caja plástica, con lecho filtrante de grava y plantas enraizadas. Se utilizará un volumen representativo de agua residual y se mantendrá un tiempo de retención hidráulico entre 3 a 5 días, con controles periódicos.

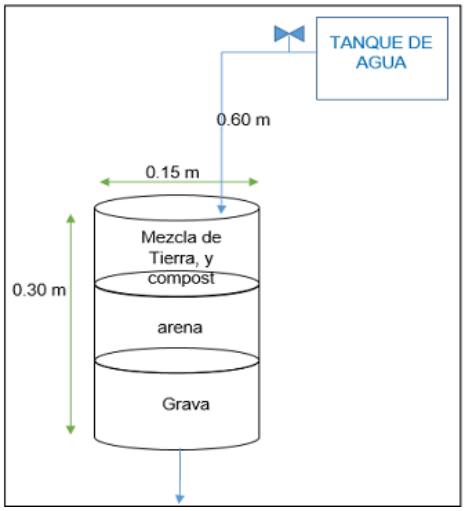
Los resultados obtenidos (valores de entrada que será el reporte de laboratorio descrito párrafos arriba y salida del agua tratada que será el agua residual que ya circulo por el humedal artificial y que será enviado a laboratorio nuevamente para contar con las concentraciones de parámetros) se emplearán para:

Es así como los instrumentos fueron:

a. Contenedor: Usa vasos de plástico o cilindros de 5 –10 L, se elaborará los humedales con material de PVC, Las dimensiones serán de 0,15 m de diámetro y de 0,30 m de alto, simulando un HA de flujo sub superficial vertical. Su sistema de drenaje fue establecido con un orificio de media pulgada en la base para la extracción de la muestra y fue regulada por una válvula.
b. Sustrato escalonado:
   - Capa drenante inferior: grava (10 mm - 20 mm) + arena gruesa (1 mm - 2 mm)
   - Capa intermedia (arena fina mezclada con carbón vegetal)
   - Capa superior con una mezcla de sustratos y tierra para raíces
c. Plantas: Según la macrófita escogida en el punto metodológico anterior indique, con una densidad de 30-50 plantas/m^2.
d. Flujo del agua residual:
   - Entrada por la parte superior en sistemas de flujo subsuperficial vertical, rl agua suministrada a los humedales podrá ser de 4 L.
   - Recolecta el efluente desde una salida en la base.

Este diseño se basó en la siguiente figura:

Figura 10.
Diseño del humedal artificial



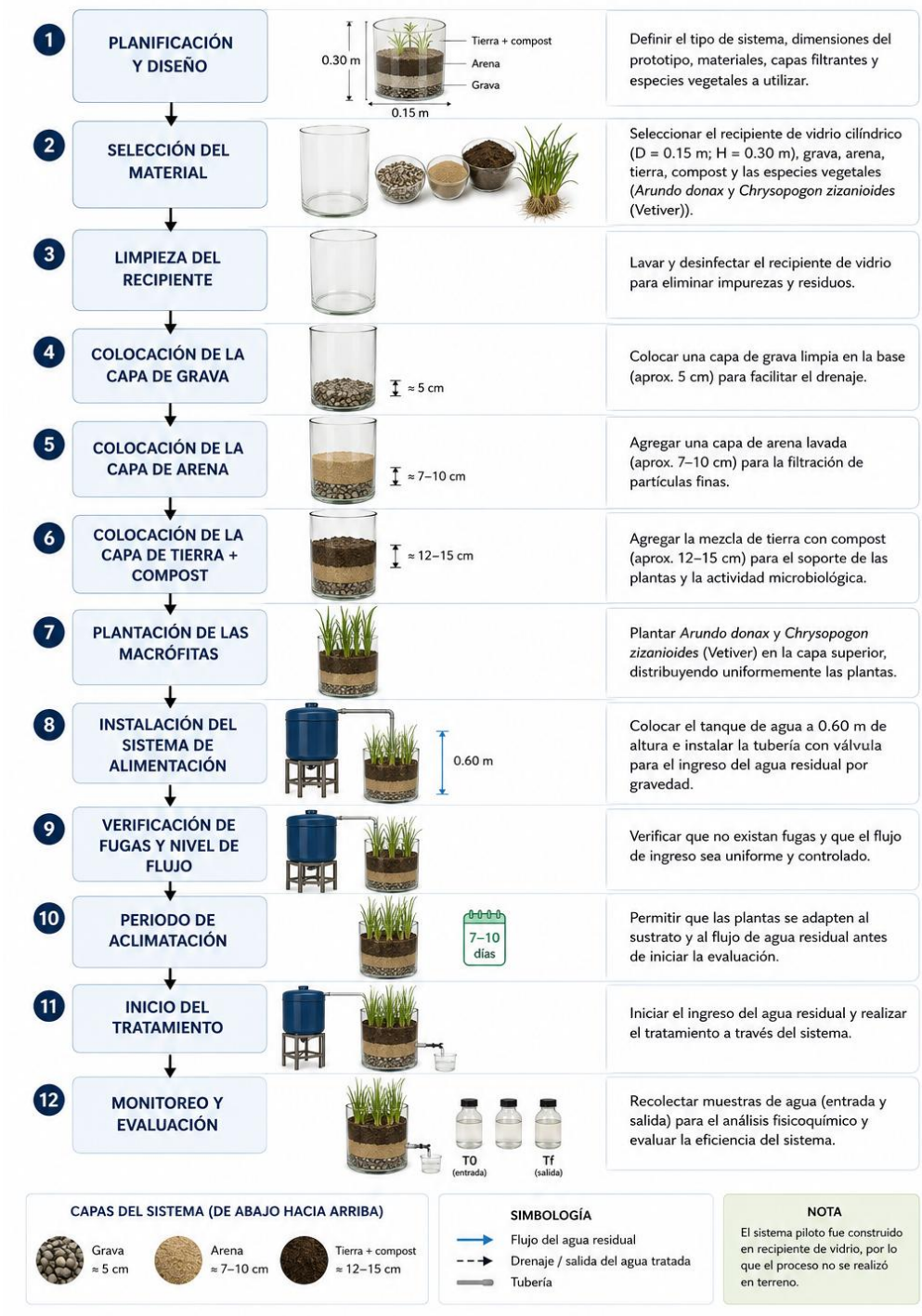
Nota. Adaptado de (Inga, 2024).

e. Evaluación del comportamiento del agua tratada.

Finalmente, se planteó un esquema simulado para evaluar el comportamiento del sistema, considerando datos de remoción promedio en sistemas HFSSH.

Es así que ya con esta información se utilizó la técnica de un análisis comparativo pre y post (ANOVA, α=0.05) y como instrumento serán las fichas de registro de datos donde se detalles las variables físicas, químicas y biológicas.

Figura 11.
Flujograma de construcción e implementación del sistema piloto de humedal artificial en recipiente de vidrio



La Figura 10 muestra la secuencia seguida para la construcción e implementación del sistema piloto de humedal artificial empleado en la investigación. El proceso inició con la planificación del diseño y la selección de los materiales necesarios, seguido por la preparación del recipiente de vidrio y la colocación de las capas filtrantes conformadas por grava, arena y una mezcla de tierra con compost. Posteriormente, se establecieron las especies vegetales *Arundo donax* y *Chrysopogon zizanioides* (vetiver), se instaló el sistema

de alimentación por gravedad mediante un tanque elevado, se verificó el correcto funcionamiento hidráulico del prototipo y se permitió un periodo de aclimatación de las plantas antes de iniciar el tratamiento del agua residual. Finalmente, se efectuó el monitoreo del sistema mediante el análisis de muestras de entrada y salida, lo que permitió evaluar la eficiencia del humedal artificial en la mejora de la calidad del agua residual agroindustrial.

3.5. Análisis de datos

Se realizó un análisis a resultados obtenidos a través de las muestras de agua obtenidas en laboratorio y se realizó un procesamiento estadístico con la aplicación del software estadístico SPSS versión 25,0, a través del cual se realizó la interpretación literal de los resultados, basado en gráficos y tablas construidas de acuerdo con las dimensiones, indicadores e ítems de cada variable, pudiéndose validar de este modo las hipótesis que se planteó en esta investigación. Considerando que las variables son de tipo cuantitativa, el diseño considerado es descriptivo transaccional, debido a que, los datos se recolectaron en un momento particular y en un lapso de tiempo definido, que sirvió para el diseño de nuestro humedal artificial para la zona, que ha sido el objetivo de la investigación; orientado a interpretar los resultados obtenidos del monitoreo de calidad del agua antes y después del tratamiento proyectado con humedales artificiales.

En un principio se realizó el procesamiento estadístico de resultados físico-químicos, ya que los datos obtenidos de los análisis de DBO_5, solidos suspendidos totales, aceites y grasas serán procesados usando herramientas estadísticas descriptivas como es la representación gráfica mediante diagramas de barras y líneas, luego se realizara la comparación con estándares normativos, es decir con los Límites Máximos Permisibles para vertimientos, establecidos en el D.S. N°004-2017-MINAM, y con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para efluentes no domésticos. Finalmente se realizó la validación técnica del diseño, donde los resultados del análisis permitirán validar si el sistema propuesto cumple con los objetivos de remoción establecidos y si es técnica y ambientalmente viable en el contexto agroindustrial del distrito de Pichanaqui; esto mediante una validación por experto en técnicas de tratamiento de aguas residuales.

Figura 12.
Flujograma de la Investigación



Nota. Elaboración Propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

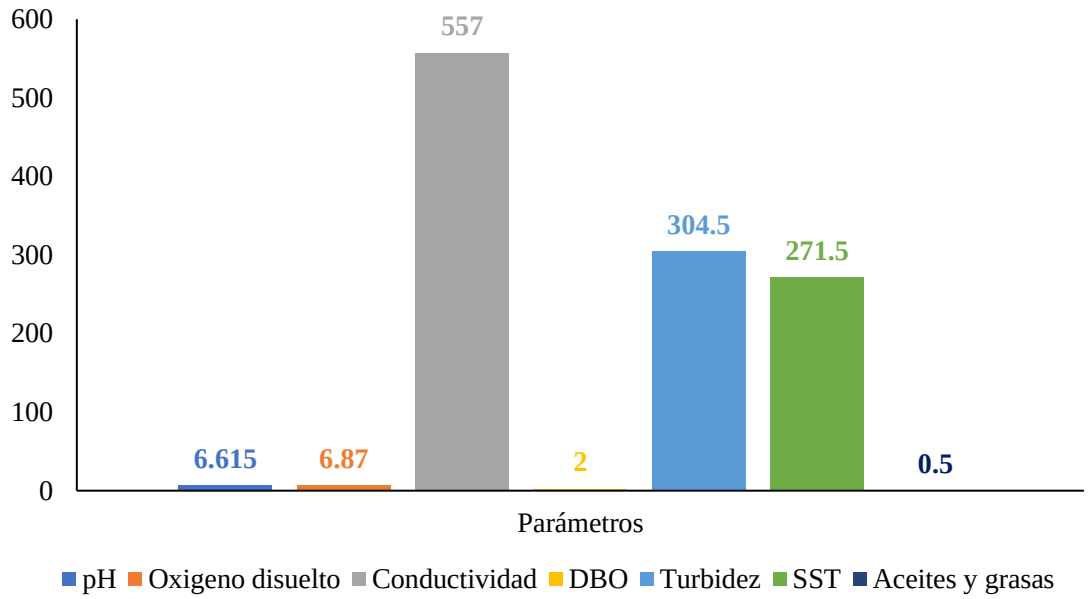
4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Calidad actual del agua en el punto de vertimiento de la empresa agroindustrial a la cuenca del río Perené

La evaluación de la calidad del agua en el punto de vertimiento es fundamental para determinar el estado actual del efluente generado por la actividad agroindustrial y su posible impacto sobre la cuenca del río Perené. Para ello, se realizaron dos muestreos del agua residual provenientes del proceso agroindustrial del jengibre, analizando parámetros fisicoquímicos relevantes como pH, oxígeno disuelto, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas. Estos parámetros permiten identificar el nivel de contaminación del efluente y sirven como línea base para la posterior evaluación de la eficiencia del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales.

Figura 13.

Parámetros de calidad del agua en el punto de vertimiento de la empresa agroindustrial hacia la cuenca del río Perené



Los resultados obtenidos muestran que el pH promedio fue de 6.62, valor que se encuentra dentro del rango cercano a la neutralidad, lo cual indica que el efluente no presenta condiciones extremas de acidez o alcalinidad. Este comportamiento es común en aguas residuales provenientes de procesos de lavado de productos agrícolas.

El oxígeno disuelto registró un promedio de 6.87 mg/L, lo cual indica una adecuada presencia de oxígeno en el agua. Este valor sugiere que el efluente aún conserva cierta capacidad de autodepuración y no presenta condiciones altamente anóxicas.

La conductividad eléctrica presentó un promedio de 557 µS/cm, reflejando la presencia de sales disueltas en el agua residual, probablemente asociadas a sedimentos, minerales del suelo y materia orgánica arrastrada durante el proceso de lavado del jengibre.

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se obtuvo un valor promedio de 2 mg/L, lo que indica una baja concentración de materia orgánica biodegradable en el momento del muestreo.

Por otro lado, se observaron valores elevados de turbidez (304.5 NTU) y sólidos suspendidos totales (271.5 mg/L), evidenciando una alta presencia de partículas suspendidas en el agua, posiblemente provenientes de restos de suelo, materia orgánica y residuos del proceso de lavado del jengibre.

Finalmente, la concentración de aceites y grasas fue de 0.5 mg/L, indicando una baja presencia de este tipo de contaminantes en el efluente analizado.

Los resultados evidencian que la principal problemática del efluente se relaciona con la alta carga de sólidos suspendidos y turbidez, lo que justifica la implementación de un sistema de tratamiento como los humedales artificiales, los cuales son eficaces para la remoción de sólidos, materia orgánica y otros contaminantes presentes en aguas residuales agroindustriales.

4.1.2. Análisis sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado en el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial

Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento que imitan los procesos naturales de depuración que ocurren en los humedales naturales, utilizando la interacción entre el sustrato, la vegetación y los microorganismos para eliminar contaminantes presentes en el agua residual. Estos sistemas han sido ampliamente utilizados en el tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales e industriales debido a su bajo costo de operación, facilidad de mantenimiento y alta eficiencia en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos (Kadlec & Wallace, 2009).

Existen diversas configuraciones de humedales artificiales, las cuales se diferencian principalmente por la forma en que el agua fluye a través del sistema. Entre los más utilizados se encuentran los humedales de flujo superficial (FWS), los humedales de flujo subsuperficial

horizontal (HSSF) y los humedales de flujo subsuperficial vertical (VSSF). Cada uno presenta características particulares que influyen en su desempeño en la remoción de contaminantes como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas (Vymazal, 2011).

En este contexto, se realizó un análisis comparativo de los diferentes tipos de humedales artificiales con el propósito de identificar la alternativa más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la empresa agroindustrial dedicada al procesamiento de jengibre.

Humedales artificiales de flujo superficial (FWS)

Los humedales de flujo superficial, también conocidos como humedales de agua libre, se caracterizan porque el agua circula sobre la superficie del sistema, en contacto directo con la atmósfera y con la vegetación emergente o flotante. Estos sistemas se asemejan a lagunas poco profundas donde el tratamiento ocurre mediante procesos de sedimentación, absorción por las plantas, actividad microbiana y fotodegradación.

Según Vymazal (2014), los humedales de flujo superficial presentan una buena capacidad para la eliminación de sólidos suspendidos y nutrientes, sin embargo, requieren áreas relativamente grandes y pueden presentar proliferación de mosquitos o malos olores si no se manejan adecuadamente.

En sistemas de tratamiento de aguas residuales agroindustriales, su eficiencia promedio de remoción suele oscilar entre 60% y 80% para DBO y sólidos suspendidos, dependiendo de las condiciones operativas.

Humedales de flujo subsuperficial horizontal (HSSF)

En los humedales de flujo subsuperficial horizontal, el agua residual circula lentamente a través de un medio poroso (generalmente grava o arena) por debajo de la superficie del sustrato. En este tipo de sistema, el agua no queda expuesta al ambiente, lo que reduce la generación de olores y el contacto con vectores.

El tratamiento ocurre principalmente mediante procesos de filtración, sedimentación, degradación microbiana y absorción por las raíces de las plantas. Estos sistemas son particularmente eficientes en la eliminación de sólidos suspendidos y materia orgánica (Kadlec & Wallace, 2009).

De acuerdo con Vymazal (2011), los humedales HSSF pueden alcanzar eficiencias de remoción de 70–90% para DBO y SST, dependiendo del diseño hidráulico y del tipo de vegetación utilizada.

Humedales de flujo subsuperficial vertical (VSSF)

Los humedales de flujo subsuperficial vertical funcionan mediante la aplicación intermitente del agua residual sobre la superficie del lecho filtrante, permitiendo que el agua percole verticalmente a través del sustrato hasta ser recolectada en la parte inferior del sistema.

Este tipo de humedal presenta una mayor transferencia de oxígeno hacia el medio filtrante, lo cual favorece la actividad de microorganismos aerobios responsables de la degradación de materia orgánica.

Según Kadlec & Wallace (2009), los humedales verticales presentan altas tasas de remoción de materia orgánica, alcanzando eficiencias superiores al 80–95% para DBO, por lo que suelen utilizarse como primera etapa de tratamiento en sistemas híbridos.

Eficiencias de remoción reportadas en estudios científicos de humedales artificiales

Diversos estudios han evaluado la eficiencia de los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, reportando altos porcentajes de remoción de contaminantes como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas. Estos resultados permiten establecer una referencia para evaluar el desempeño potencial de los sistemas propuestos.

Tabla 3.

Eficiencia de remoción de contaminantes en diferentes tipos de humedales artificiales según estudios científicos

Tipo de humedal	DBO (%)	SST (%)	Referencia
Flujo subsuperficial horizontal (HSSF)	70 – 90	70 – 95	Vymazal (2011)
Flujo subsuperficial vertical (VSSF)	80 – 95	70 – 90	Kadlec & Wallace (2009)
Flujo superficial (FWS)	60 – 80	60 – 80	Vymazal (2014)
Sistema híbrido (VSSF + HSSF)	85 – 95	80 – 95	Vymazal (2013)

Los resultados reportados en diferentes investigaciones científicas evidencian que los humedales artificiales presentan una alta capacidad de remoción de contaminantes orgánicos y sólidos suspendidos presentes en aguas residuales. Entre los sistemas analizados, los humedales de flujo subsuperficial vertical (VSSF) presentan mayores eficiencias en la eliminación de

materia orgánica debido a la mayor transferencia de oxígeno que se produce durante la infiltración del agua a través del medio filtrante.

Por otro lado, los humedales de flujo subsuperficial horizontal (HSSF) presentan una elevada capacidad de retención de sólidos suspendidos debido a los procesos de sedimentación y filtración que ocurren en el sustrato.

Los estudios revisados indican que los sistemas híbridos que combinan humedales verticales y horizontales presentan las mayores eficiencias de tratamiento, alcanzando valores superiores al 85% en la remoción de DBO y SST. Esto se debe a que la combinación de ambos sistemas permite aprovechar tanto los procesos aerobios como anaerobios que intervienen en la depuración del agua residual.

En consecuencia, la implementación de un sistema híbrido de humedales artificiales representa una alternativa adecuada para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la empresa agroindustrial evaluada, permitiendo mejorar significativamente la calidad del efluente antes de su descarga al cuerpo receptor.

Comparación de los tipos de humedales artificiales

Para seleccionar el sistema más adecuado para el tratamiento del efluente agroindustrial analizado, se realizó una comparación entre los principales tipos de humedales artificiales considerando aspectos como eficiencia de remoción, requerimiento de área y facilidad de operación.

Tabla 4.

Comparación de los principales tipos de humedales artificiales utilizados en el tratamiento de aguas residuales

Tipo de humedal	Características principales	Eficiencia DBO	Eficiencia SST	Ventajas	Limitaciones
Flujo superficial (FWS)	Agua fluye sobre la superficie	60–80%	60–80%	Diseño simple	Requiere mayor área
Flujo subsuperficial horizontal (HSSF)	Agua circula bajo la superficie del sustrato	70–90%	70–90%	Menor generación de olores	Menor oxigenación
Flujo subsuperficial vertical (VSSF)	Agua percola verticalmente en el lecho filtrante	80–95%	70–90%	Alta remoción de materia orgánica	Operación intermitente

Fuente: Adaptado de Kadlec & Wallace (2009) y Vymazal (2011).

A partir del análisis comparativo de los diferentes tipos de humedales artificiales, se determinó que la alternativa más adecuada para el tratamiento de las aguas residuales generadas por la empresa agroindustrial es la implementación de un sistema híbrido, el cual combina las ventajas de los humedales de flujo subsuperficial vertical y horizontal.

Los sistemas híbridos permiten mejorar la eficiencia global del tratamiento al integrar procesos aerobios y anaerobios, favoreciendo la eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos y otros contaminantes presentes en el efluente.

Diversos estudios han demostrado que la combinación de humedales verticales y horizontales puede alcanzar eficiencias superiores al 90% en la remoción de DBO y SST, lo que los convierte en una alternativa altamente eficiente para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales (Vymazal, 2013).

En base a este análisis, se propone la implementación de un humedal artificial híbrido compuesto por una celda de flujo vertical seguida de una celda de flujo horizontal, complementado con una celda de pulido superficial para mejorar la calidad final del efluente antes de su descarga al cuerpo receptor.

4.1.3. Analizar sistemáticamente especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en la zona de Pichanaqui para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales

Las plantas macrófitas constituyen uno de los componentes más importantes en los humedales artificiales, ya que participan activamente en los procesos de depuración del agua mediante mecanismos como la absorción de nutrientes, la retención de sólidos suspendidos, la transferencia de oxígeno hacia la rizosfera y la generación de superficies para el desarrollo de microorganismos responsables de la degradación de contaminantes (Vymazal, 2011).

Diversos estudios han reportado que más de 40 especies vegetales han sido utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales, aunque algunas especies destacan por su mayor eficiencia y adaptabilidad. Entre las más utilizadas se encuentran *Phragmites australis, Typha latifolia, Canna indica, Eichhornia crassipes y Arundo donax y Chrysopogon zizanioides (*vetiver*),* ebido a su capacidad para remover materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes y, en algunos casos, metales pesados (Betanzo-Torres et al., 2025).

En ese contexto, se realizó un análisis comparativo de especies vegetales con potencial aplicación en humedales artificiales, considerando criterios de eficiencia de remoción, adaptación a condiciones tropicales similares a Pichanaqui, disponibilidad local y viabilidad

técnica para el tratamiento de aguas residuales provenientes del procesamiento agroindustrial del jengibre.

Especies vegetales utilizadas en humedales artificiales

Diversos estudios han demostrado que las macrófitas utilizadas en humedales artificiales pueden clasificarse en tres grupos principales:

- Macrófitas flotantes
- Macrófitas emergentes
- Macrófitas sumergidas

Cada grupo presenta diferentes mecanismos de remoción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales.

a) Macrófitas flotantes

Entre las macrófitas flotantes más utilizadas en humedales artificiales se encuentran *Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes y Lemna minor*. Estas especies poseen sistemas radiculares extensos que flotan en la columna de agua, lo que favorece la retención de sólidos suspendidos y la absorción de nutrientes presentes en el agua residual (Gaballah et al., 2024).

Diversas investigaciones han demostrado que *Eichhornia crassipes* presenta una alta eficiencia en la eliminación de contaminantes orgánicos y nutrientes, alcanzando reducciones superiores al 70–80% de DBO en sistemas de tratamiento natural (Ssekimpi, 2021).

Asimismo, *Pistia stratiotes* ha sido utilizada en sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas y agroindustriales, mostrando buenos resultados en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos debido a su sistema radicular fibroso.

b) Macrófitas emergentes

Las macrófitas emergentes son ampliamente utilizadas en humedales subsuperficiales debido a la profundidad de su sistema radicular y su capacidad de estabilizar hidráulicamente el sistema. Especies como *Phragmites australis, Typha latifolia, Canna indica, Arundo donax y vetiver (Chrysopogon zizanioides*) han mostrado resultados favorables en el tratamiento de aguas residuales.

Arundo donax es una gramínea perenne de alta biomasa, con elevada tolerancia a contaminantes y gran capacidad de adaptación a ambientes húmedos. Su sistema radical favorece el desarrollo microbiano en el sustrato y mejora procesos de filtración y degradación biológica. Diversos

estudios han reportado su eficiencia en la remoción de DBO y sólidos suspendidos en humedales subsuperficiales

Por su parte, el vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) destaca por su extenso sistema radicular, alta tolerancia a contaminantes orgánicos y excelente adaptación a climas tropicales húmedos. Investigaciones recientes han reportado eficiencias significativas en remoción de sólidos suspendidos, materia orgánica y contaminantes disueltos, considerándolo como una propuesta sólida respaldada por criterios técnicos para el sistemas de tratamiento natural (Danh et al., 2023).

Estas plantas presentan sistemas radiculares profundos que favorecen la formación de biofilm microbiano y la transferencia de oxígeno hacia el sustrato, lo que mejora la degradación de contaminantes presentes en el agua residual (Gorgoglione & Torretta, 2018).

Estudios experimentales han demostrado que humedales artificiales vegetados con *Phragmites spp.* presentan altas tasas de remoción de contaminantes debido a su gran producción de biomasa y su sistema radicular desarrollado (Qadiri et al., 2021).

Asimismo, *Canna indica* ha sido evaluada en sistemas piloto de humedales flotantes y subsuperficiales, mostrando reducciones significativas en parámetros como DBO y nutrientes en aguas residuales urbanas (Yadav et al., 2023).

Tabla 5.

Principales especies vegetales utilizadas en humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales

Especie	Tipo de macrófita	Aplicación en humedales	Principales contaminantes removidos
Eichhornia crassipes	Flotante	Humedales de flujo superficial	DBO, SST, nutrientes
Pistia stratiotes	Flotante	Lagunas o celdas de pulido	DBO, SST, nutrientes
Lemna minor	Flotante	Lagunas de estabilización	Nutrientes
Canna indica	Emergente	Humedales subsuperficiales	DBO, SST
Phragmites australis	Emergente	Humedales subsuperficiales	DBO, SST, nutrientes
Typha latifolia	Emergente	Humedales naturales y artificiales	Nutrientes, sólidos
Arundo donax	Emergente	Humedales subsuperficiales	DBO, SST
Chrysopogon zizanioides (Vetiver)	Emergente	Humedales tropicales	DBO, SST, compuestos disueltos

Fuente: Adaptado de Rezania et al. (2015); Vymazal (2011); estudios recientes sobre humedales artificiales.

Selección de especies para el sistema experimental

A partir del análisis comparativo realizado, se determinó que las especies *Arundo donax* y *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) presentan las mejores condiciones técnicas para su incorporación en el sistema experimental de humedal artificial.

La elección de *Arundo donax* se fundamenta en su elevada capacidad de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos, su resistencia estructural, rápido crecimiento y compatibilidad con sistemas de flujo subsuperficial.

En el caso del vetiver, su selección responde a su sobresaliente adaptación a climas tropicales húmedos, profundo desarrollo radicular, tolerancia a contaminantes y estabilidad hidráulica, características que mejoran el desempeño biológico del humedal.

A diferencia de las especies flotantes, estas macrófitas emergentes ofrecen mayor estabilidad operativa en sistemas subsuperficiales, reduciendo problemas de colmatación superficial, manejo excesivo de biomasa y variaciones hidráulicas.

Eficiencia de remoción reportada para especies vegetales utilizadas en humedales artificiales

Diversos estudios científicos han evaluado la eficiencia de distintas macrófitas acuáticas utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Estas plantas contribuyen a la depuración del agua mediante mecanismos como la absorción de nutrientes, la retención de sólidos suspendidos, la transferencia de oxígeno a la rizosfera y el soporte para el desarrollo de comunidades microbianas responsables de la degradación de contaminantes (Vymazal, 2011).

En la literatura científica se reportan múltiples especies vegetales con potencial para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en regiones tropicales donde las condiciones climáticas favorecen el crecimiento de macrófitas acuáticas (Pang et al., 2023).

Tabla 6.

Eficiencias de remoción de contaminantes reportadas en estudios científicos para diferentes especies utilizadas en humedales artificiales

Especie vegetal	Tipo de macrófita	DBO (%)	SST (%)	Referencia
Arundo donax	Emergente	72–91	70–90	Calheiros et al., 2012
Chrysopogon zizanioides	Emergente	70–89	75–93	(Aksorn & Chitsomboon, 2013

Eichhornia crassipes	Flotante	70 – 90	70 – 90	Rezania et al., 2015
Pistia stratiotes	Flotante	65 – 85	65 – 85	Ali et al., 2020
Canna indica	Emergente	70 – 90	70 – 92	Sandoval-Herazo et al., 2018
Phragmites australis	Emergente	75 – 95	75 – 95	Vymazal, 2011
Typha latifolia	Emergente	70 – 90	70 – 90	Kadlec & Wallace, 2009
Cyperus papyrus	Emergente	65 – 85	65 – 88	Kyambadde et al., 2004

Los resultados presentados en la Tabla 6 evidencian que diversas especies vegetales utilizadas en humedales artificiales presentan una elevada capacidad para la remoción de contaminantes orgánicos y sólidos suspendidos presentes en aguas residuales. En términos generales, las especies emergentes muestran un desempeño más estable y eficiente en comparación con las macrófitas flotantes, debido a su mayor desarrollo radicular, capacidad de soporte microbiano y mejor interacción con el sustrato filtrante.

Entre las especies evaluadas, *Phragmites australis* reporta los mayores rangos de eficiencia, alcanzando remociones de hasta 95% en DBO y SST, lo que confirma su amplio reconocimiento como una de las especies más eficientes en humedales artificiales. No obstante, su aplicación puede verse limitada en zonas tropicales húmedas como Pichanaqui, debido a requerimientos ecológicos distintos y menor disponibilidad local.

Por otro lado, *Arundo donax* presenta eficiencias de remoción altamente competitivas, con valores entre 72% y 91% para DBO, y 70% y 90% para SST, posicionándose como una alternativa técnicamente robusta para sistemas de flujo subsuperficial. Su condición de macrófita emergente, alta producción de biomasa y resistencia estructural favorecen la degradación biológica de contaminantes y la retención de sólidos suspendidos.

Asimismo, *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) muestra resultados igualmente favorables, con eficiencias de hasta 89% en DBO y 93% en SST, destacando especialmente en la remoción de sólidos suspendidos gracias a su extenso sistema radicular, que incrementa los procesos de filtración y soporte microbiológico. Además, su alta adaptabilidad a climas tropicales representa una ventaja importante para su implementación en la zona de estudio.

En el caso de las especies flotantes como *Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes*, si bien presentan eficiencias adecuadas en la remoción de contaminantes, su uso implica mayores requerimientos de mantenimiento debido al crecimiento acelerado de biomasa y a la necesidad de cosecha periódica, además de una menor estabilidad hidráulica frente a sistemas subsuperficiales.

Finalmente, especies como *Canna indica, Typha latifolia y Cyperus papyrus* también muestran desempeños favorables; sin embargo, al evaluar conjuntamente criterios de eficiencia, adaptación climática, disponibilidad y facilidad operativa, se determina que *Arundo donax y Chrysopogon zizanioides* representan las especies más adecuadas para el sistema experimental propuesto, debido a que combinan alta eficiencia depuradora con mejores condiciones de adaptación y viabilidad técnica para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales en Pichanaqui.

4.1.4. Propuesta de diseño técnico del sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial

A partir del análisis de los tipos de humedales artificiales y de las especies vegetales con potencial de adaptación en la zona de estudio, se planteó el diseño técnico de un sistema de tratamiento natural para las aguas residuales generadas por la empresa agroindustrial ubicada en la cuenca del río Perené.

El diseño del sistema tiene como objetivo principal la reducción de la carga contaminante del efluente, especialmente en parámetros como demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas, los cuales son característicos de efluentes provenientes de procesos agroindustriales.

Considerando las condiciones climáticas tropicales del distrito de Pichanaqui, la disponibilidad de especies vegetales y los resultados del análisis comparativo realizado en los objetivos anteriores, se propuso la implementación de un sistema híbrido de humedales artificiales, el cual combina diferentes configuraciones hidráulicas para mejorar la eficiencia del tratamiento.

Configuración del sistema de humedal artificial

El sistema propuesto está compuesto por tres unidades principales de tratamiento:

- Humedal de flujo subsuperficial vertical (FSSV)
- Humedal de flujo subsuperficial horizontal (FSSH)
- Celda de pulido superficial con macrófitas flotantes

Adicionalmente, el sistema incluye una etapa de pretratamiento, compuesta por un sedimentador primario y una trampa de grasas, con el fin de reducir la carga de sólidos y aceites antes del ingreso al sistema de humedal.

Selección de especies vegetales

Para el funcionamiento del sistema de humedal artificial se seleccionaron dos especies vegetales emergentes adaptadas a climas tropicales y con alta eficiencia en la remoción de contaminantes, considerando criterios de adaptación a las condiciones ambientales del distrito de Pichanaqui, estabilidad hidráulica, disponibilidad y desempeño reportado en estudios científicos.

- ***Arundo donax (carrizo gigante)***

Arundo donax es una macrófita emergente perenne ampliamente utilizada en sistemas de tratamiento natural de aguas residuales debido a su elevada producción de biomasa, resistencia a condiciones ambientales variables y capacidad de tolerar cargas contaminantes moderadas a altas.

Su sistema radicular favorece el desarrollo de comunidades microbianas adheridas al sustrato, lo que mejora los procesos de degradación biológica de la materia orgánica y contribuye a la retención de sólidos suspendidos mediante mecanismos de filtración física y estabilización del lecho. Además, su estructura vegetal robusta proporciona estabilidad operativa al humedal, reduciendo alteraciones hidráulicas durante el tratamiento.

Por estas características, *Arundo donax* fue incorporada en el sistema de humedal subsuperficial como especie principal para favorecer la remoción de DBO y sólidos suspendidos totales.

- ***Chrysopogon zizanioides*** **(vetiver)**

Chrysopogon zizanioides, conocido comúnmente como vetiver, es una gramínea emergente reconocida por su extenso y profundo sistema radicular, alta resistencia a contaminantes y excelente adaptación a climas tropicales húmedos.

Su capacidad de penetración radicular favorece la transferencia de oxígeno hacia la rizosfera, incrementando la actividad microbiológica responsable de la degradación de compuestos orgánicos. Asimismo, contribuye significativamente a la retención de sólidos suspendidos y mejora la estabilidad estructural del sustrato, minimizando procesos de colmatación.

Debido a su elevada eficiencia reportada en la remoción de contaminantes y su alta adaptabilidad a las condiciones ambientales de Pichanaqui, esta especie fue seleccionada como complemento vegetal del sistema de humedal subsuperficial.

La incorporación conjunta de *Arundo donax y Chrysopogon zizanioides* permite aprovechar mecanismos complementarios de depuración biológica, física y química, fortaleciendo el desempeño integral del sistema de tratamiento.

Esta configuración permite optimizar los procesos de remoción de contaminantes mediante condiciones aerobias y anóxicas controladas dentro del humedal artificial, favoreciendo la degradación de materia orgánica, la retención de sólidos suspendidos y la mejora progresiva de la calidad del agua residual agroindustrial.

Justificación técnica del sistema propuesto

El humedal de flujo subsuperficial vertical constituye la primera etapa del tratamiento, donde el agua residual se distribuye intermitentemente sobre el lecho filtrante. Este proceso favorece la transferencia de oxígeno hacia el sustrato, promoviendo condiciones aerobias que facilitan la degradación de materia orgánica y la remoción de DBO.

Posteriormente, el efluente tratado pasa al humedal de flujo subsuperficial horizontal, donde el agua circula lentamente a través de un medio poroso compuesto por grava y arena. En esta etapa predominan procesos de filtración, sedimentación y degradación microbiana, lo que contribuye a la reducción de sólidos suspendidos y a la estabilización de compuestos orgánicos.

Finalmente, el sistema incorpora una celda de pulido superficial, donde se ubican las macrófitas flotantes. Esta unidad permite capturar partículas finas, grasas y aceites flotantes, además de favorecer procesos de oxidación natural mediante exposición a la radiación solar.

La combinación de estas tres unidades conforma un sistema híbrido de humedal artificial, el cual ha demostrado altas eficiencias en la remoción de contaminantes en aguas residuales agroindustriales.

Supuestos de diseño del sistema piloto

Para el diseño experimental del sistema piloto se consideraron los siguientes parámetros:

- Caudal de diseño: 1 m^3/día
- Porosidad del sustrato: 0.40
- Profundidad de humedales subsuperficiales: 0.60 m
- Profundidad de celda superficial: 0.40 m

Tabla 7.

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Unidad	TRH
Humedal vertical	2 días
Humedal horizontal	3 días
Celda de pulido	1 día

Dimensiones del sistema propuesto

Humedal de flujo subsuperficial vertical (VSSF)

- TRH: 2 días
- Volumen poroso: 2 m^3
- Área requerida: 8.5 m^2

Dimensiones aproximadas:

- 2.5 m × 3.4 m
- Profundidad: 0.60 m

Plantación:

- *Arundo Donax*
- Densidad: 10 plantas/m^2
- Total aproximado: 85 plantas

Humedal de flujo subsuperficial horizontal (HSSF)

- TRH: 3 días
- Volumen poroso: 3 m^3
- Área requerida: 12.5 m^2

Dimensiones aproximadas:

- 2.5 m × 5.0 m
- Profundidad: 0.60 m

Celda de pulido superficial

- TRH: 1 día
- Volumen: 1 m^3
- Área aproximada: 2.5 m^2

Dimensiones aproximadas:

- 1.25 m × 2.0 m
- Profundidad: 0.40 m

Plantas utilizadas:

- *Chrysopogon zizanioides*

- Cobertura vegetal inicial: 60 % de la superficie

Diseño experimental del sistema piloto

Debido a que el estudio se desarrolló a escala experimental, también se diseñó un prototipo de humedal artificial en contenedores de laboratorio con capacidad aproximada de 10 a 20 litros, con el objetivo de evaluar el desempeño de las especies vegetales seleccionadas.

El sistema piloto está compuesto por:

- Contenedor plástico de 20 L
- Sustrato compuesto por grava y arena
- Profundidad de agua entre 15 y 20 cm

Tabla 8.

Capas del sustrato

Capa	Material	Espesor
Inferior	Grava gruesa	3–5 cm
Media	Arena o mezcla arena-grava	10–12 cm
Superior	Grava fina	2–3 cm

Condiciones de operación

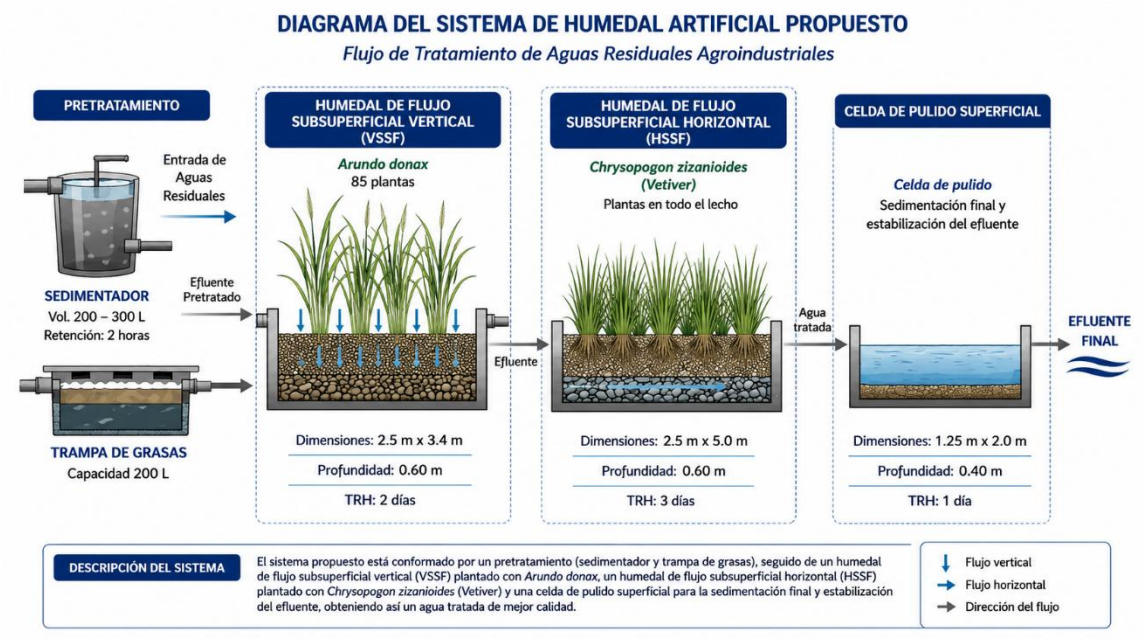
El sistema experimental se operó bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura: 20 – 30 °C
- Luz: natural indirecta
- Tiempo de retención hidráulica: 24 - 48 horas

El flujo de agua fue controlado mediante un sistema de entrada y salida que permitió simular las condiciones de operación de un humedal artificial a pequeña escala.

Figura 14.

Diagrama del sistema de humedal artificial propuesto



El diseño propuesto integra diferentes configuraciones de humedales artificiales con el objetivo de maximizar la eficiencia del tratamiento del efluente agroindustrial. La combinación de humedales de flujo vertical, horizontal y una celda de pulido superficial permite aprovechar distintos procesos físicos, químicos y biológicos responsables de la remoción de contaminantes.

Asimismo, la selección de especies vegetales adaptadas a condiciones tropicales permite mejorar la eficiencia del sistema y garantizar su viabilidad para su aplicación en la zona de estudio.

Calidad del agua después del sistema de humedales artificiales

Con la finalidad de evaluar la eficiencia del sistema de humedales artificiales propuesto para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales, se realizó la caracterización fisicoquímica del efluente final luego de su paso por las unidades de pretratamiento, humedal de flujo subsuperficial vertical, humedal de flujo subsuperficial horizontal y celda de pulido superficial.

Para ello, se tomaron tres muestras representativas certificadas por laboratorio acreditado por INACAL del agua tratada y se analizaron parámetros clave de calidad ambiental, tales como pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez, sólidos suspendidos totales (SST) y aceites y grasas.

Los resultados obtenidos fueron comparados con valores referenciales establecidos por la Corporación Financiera Internacional (IFC) y el Grupo Banco Mundial, contenidos en las

Environmental, Health and Safety Guidelines for Food and Beverage Processing y General EHS Guidelines, ampliamente utilizadas como referencia internacional para vertimientos industriales (World Bank Group, 2007a; 2007b).

Parámetros	Unidad	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Antes	Banco Mundial / IFC
pH	-	8.06	7.50	7.00	7.52	6.615	6 – 9
Oxígeno disuelto	mg DO/L	4.02	4.11	4.08	4.07	6.87	-
Conductividad	µS/cm	268	305	285	286	557	125
DBO	mg/L	2	2	2	2	2	30
Turbidez	NTU	15.48	32.52	26.40	24.80	304	-
SST	mg/L	81.95	88.00	86.20	85.40	271.5	50
Aceites y grasas	mg/L	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	10

Los resultados obtenidos después del tratamiento mediante el sistema de humedales artificiales evidencian una mejora significativa en la calidad del agua residual agroindustrial. El pH promedio fue de 7.52, ubicándose dentro del rango recomendado por el Banco Mundial (6–9), lo cual indica que el efluente tratado presenta condiciones adecuadas de neutralidad y estabilidad química para su descarga controlada. El oxígeno disuelto alcanzó un promedio de 4.07 mg/L, valor que refleja una mejora en las condiciones aeróbicas del agua tratada, asociada a los procesos de aireación natural, fotosíntesis y transferencia de oxígeno desarrollados dentro del humedal artificial. La conductividad eléctrica presentó un promedio de 286 µS/cm, mostrando una disminución respecto al agua cruda, lo que sugiere reducción parcial de sales disueltas y materia iónica presente en el efluente. En relación con la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), se obtuvo un valor promedio de 2 mg/L, muy por debajo del límite referencial de 30 mg/L establecido por lineamientos internacionales para vertimientos industriales, evidenciando una alta eficiencia del sistema en la remoción de materia orgánica biodegradable. La turbidez promedio fue de 24.8 NTU, mostrando una reducción considerable respecto al efluente inicial, lo cual indica una adecuada retención de partículas suspendidas por acción del sustrato filtrante y de las raíces de las macrófitas. Por otro lado, los sólidos suspendidos totales (SST) registraron un promedio de 85.4 mg/L, valor superior al nivel referencial de 50 mg/L del Banco Mundial. Esto evidencia que, si bien existió reducción de sólidos, aún se requiere optimizar la etapa de sedimentación inicial o la celda final de pulido para mejorar este parámetro. Finalmente, la concentración de aceites y grasas fue de <0.5 mg/L, valor muy inferior al límite internacional de 10 mg/L, demostrando una elevada eficiencia del sistema en la retención y separación de compuestos grasos.

4.2. Prueba de hipótesis

Para determinar si la implementación del sistema de humedales artificiales produjo cambios en la calidad del agua residual, se realizó el contraste de hipótesis comparando los valores obtenidos antes y después del tratamiento.

Debido a que el tamaño de muestra fue reducido y la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk evidenció que no todas las variables presentaron distribución normal, se utilizó la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, adecuada para comparar mediciones dependientes en muestras pequeñas.

El análisis se efectuó con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, considerando que valores de $p < 0.05$ indicarían diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones antes y después del tratamiento.

4.2.2. Comparación antes y después: Wilcoxon para muestras pareadas

Figura 15.

Wilcoxon para pH

```
> wilcox.test(pHb, pHa, alternative = "two.sided", paired = TRUE, conf.int = 0.95)

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  pHb and pHa
V = 0, p-value = 0.03451
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
90 percent confidence interval:
 -1.444 -0.386
sample estimates:
(pseudo)median
    -0.9149293
```

En la comparación entre los valores antes y después del tratamiento mediante la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas, se obtuvo un p-value = 0.03451, valor inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0.05$), lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre ambas mediciones. Esto evidencia que el sistema de humedales artificiales modificó significativamente el comportamiento del pH, desplazándolo desde un promedio inicial de 6.615 hacia 7.52, acercándolo a condiciones más neutras y favorables para la calidad del efluente.

Figura 16.

Wilcoxon para Oxígeno Disuelto

```
> wilcox.test(ODb, ODa, alternative = "two.sided", paired = TRUE, conf.int = 0.95)

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  ODb and ODa
V = 21, p-value = 0.03054
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
60 percent confidence interval:
 2.790000 2.810016
sample estimates:
(pseudo)median
       2.80996
```

La comparación antes y después mostró un p-value = 0.03054, indicando diferencias estadísticamente significativas entre ambas condiciones. El oxígeno disuelto disminuyó de 6.87 mg/L a 4.07 mg/L, comportamiento asociado al consumo biológico de oxígeno durante los procesos de degradación de materia orgánica dentro del humedal artificial.

Este parámetro no fue contrastado con el Banco Mundial, debido a que no se establece un límite específico aplicable para este tipo de evaluación.

Figura 17.

Wilcoxon para Conductividad eléctrica

```
> wilcox.test(conb, cona, alternative = "two.sided", paired = TRUE, conf.int = 0.95)

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  conb and cona
V = 21, p-value = 0.03451
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
90 percent confidence interval:
 255 286
sample estimates:
(pseudo)median
      270.5001
```

La prueba de Wilcoxon para comparación antes y después reportó un p-value = 0.03452, evidenciando diferencias significativas entre ambas condiciones. La conductividad disminuyó de 557 µS/cm a 286 µS/cm, lo que representa una reducción del 49%, indicando disminución de compuestos disueltos e iones presentes en el agua residual.

Figura 18.

Wilcoxon para Turbidez

```
> wilcox.test(Turb, Tura, alternative = "two.sided", paired = FALSE, conf.int = 0.95)

        Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data:  Turb and Tura
W = 36, p-value = 0.004624
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 271.9799 289.0200
sample estimates:
difference in location
                 278.1
```

La prueba de Wilcoxon mostró un p-value = 0.004624, indicando diferencias estadísticamente significativas entre los valores antes y después del tratamiento. La turbidez disminuyó de 304 NTU a 24.8 NTU, representando una reducción aproximada del 92%, lo que confirma una alta eficiencia del sistema en la remoción de partículas suspendidas y sólidos finos.

Figura 19.

Wilcoxon para Sólidos suspendidos totales

```
> wilcox.test(SSTb, SSTa, alternative = "two.sided", paired = TRUE, conf.int = 0.95)

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  SSTb and SSTa
V = 0, p-value = 0.03451
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
90 percent confidence interval:
 -187.50 -184.55
sample estimates:
(pseudo)median
     -186.0249
```

La comparación antes y después arrojó un p-value = 0.03451, indicando diferencias estadísticamente significativas entre ambas mediciones. Los SST disminuyeron de 271.5 mg/L a 85.4 mg/L, equivalente a una reducción del 69%, evidenciando la capacidad del humedal para retener material particulado.

4.2.1. Comparación promedio vs IFC: One-Sample Wilcoxon Signed Rank Test

Figura 20.

Wilcoxon para pH

```
> wilcox.test(pH, mu = 7, alternative = "two.sided")

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  pH
V = 3, p-value = 0.3711
alternative hypothesis: true location is not equal to 7
```

Al comparar el promedio final con el rango referencial del Banco Mundial (6–9), se obtuvo un p-value = 0.3711, superior a 0.05, lo que indica que el valor final del pH no presenta diferencias significativas respecto al estándar de referencia, evidenciando cumplimiento normativo.

Figura 21.

Wilcoxon para Conductividad eléctrica

```
> wilcox.test(Cond, mu = 125, alternative = "two.sided")

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  Cond
V = 21, p-value = 0.03451
alternative hypothesis: true location is not equal to 125
```

Al comparar el promedio final con el valor referencial del Banco Mundial (125 µS/cm), se obtuvo un p-value = 0.03451, valor inferior a 0.05, indicando diferencias estadísticamente significativas respecto al estándar. Esto demuestra que, aunque el sistema redujo considerablemente la conductividad, el valor final aún supera el parámetro de referencia utilizado.

Figura 22.

Wilcoxon para Demanda Bioquímica de Oxigeno

```
> wilcox.test(DBO, mu = 30, alternative = "two.sided")

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  DBO
V = 0, p-value = 0.01966
alternative hypothesis: true location is not equal to 30
```

Al comparar el promedio final con el límite referencial del Banco Mundial (30 mg/L), se obtuvo un p-value = 0.01966, indicando diferencias significativas respecto al estándar. Dado que el valor observado es considerablemente menor que el límite permitido, esto evidencia un desempeño favorable del sistema y cumplimiento del criterio de referencia.

Figura 23.

Wilcoxon para Sólidos suspendidos totales

```
> wilcox.test(SST, mu = 50, alternative = "two.sided")

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  SST
V = 21, p-value = 0.03451
alternative hypothesis: true location is not equal to 50
```

Al comparar el valor promedio final con el límite del Banco Mundial (50 mg/L), se obtuvo un p-value = 0.03451, indicando diferencias significativas respecto al estándar. Esto demuestra que, aunque hubo una reducción importante, el valor final aún no cumple completamente con el criterio internacional establecido.

Figura 24.

Wilcoxon para Aceites y grasas

```
> wilcox.test(SST, mu = 10, alternative = "two.sided")

        Wilcoxon signed rank test with continuity correction

data:  SST
V = 21, p-value = 0.03451
alternative hypothesis: true location is not equal to 10
```

Al comparar el promedio final con el límite del Banco Mundial (10 mg/L), se obtuvo un p-value = 0.03451, indicando diferencia significativa respecto al valor referencial. Dado que la concentración observada es considerablemente inferior al límite permitido, se concluye que el efluente cumple satisfactoriamente con este parámetro.

4.3. Discusión de resultados

Los resultados iniciales evidenciaron que el efluente presentó valores promedio de turbidez de 304.5 NTU y sólidos suspendidos totales (271.5 mg/L), lo que refleja una elevada carga de material particulado asociada al lavado, pelado y manipulación del jengibre. Asimismo, la conductividad alcanzó 557 µS/cm, sugiriendo presencia moderada de sales y compuestos solubles.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Castillo (2022), quien identificó en aguas agroindustriales provenientes de mataderos altas concentraciones de sólidos y materia orgánica antes del tratamiento, señalando que este tipo de efluentes presenta características variables según el proceso productivo. Del mismo modo, Romero (2021) indicó que las aguas residuales industriales suelen contener parámetros que superan valores permisibles incluso después de tratamientos convencionales, razón por la cual requieren tecnologías complementarias como humedales artificiales.

Sin embargo, en la presente investigación la DBO fue baja (2 mg/L) desde el inicio, lo cual difiere de estudios donde se reportan cargas orgánicas elevadas. Esta diferencia puede explicarse por el momento de muestreo, la dilución por agua de lavado, menor concentración de residuos orgánicos solubles o variaciones operativas propias de la planta agroindustrial.

El análisis comparativo permitió seleccionar un sistema híbrido compuesto por humedal de flujo subsuperficial vertical (FSSV), humedal de flujo subsuperficial horizontal (FSSH) y celda de pulido superficial, debido a su capacidad para integrar procesos aerobios, anóxicos y de sedimentación final.

Este resultado guarda relación con Rojas (2023), quien concluyó que los humedales subsuperficiales horizontales y verticales son altamente eficientes para remover materia orgánica y nutrientes, destacando la importancia del medio filtrante y la actividad microbiana. Asimismo, Camizan y Zapata (2022) identificaron que los sistemas horizontal y vertical son los más utilizados por generar condiciones favorables para bacterias degradadoras. De forma similar, Vymazal (2013) reportó internacionalmente que los sistemas híbridos presentan mejores eficiencias globales que los sistemas simples, especialmente cuando se requiere remover simultáneamente DBO, SST y nutrientes. La selección del sistema híbrido en esta tesis responde además a condiciones locales de Pichanaqui, donde las altas temperaturas favorecen actividad biológica durante todo el año, mejorando el desempeño del tratamiento natural.

Luego de revisar diferentes especies utilizadas en humedales artificiales, se seleccionaron Eichhornia crassipes, Pistia stratiotes y Canna indica, debido a su disponibilidad regional, adaptación tropical y potencial depurador.

Este resultado coincide con Fernández (2024), quien evaluó varias especies para tratamiento de vinaza y concluyó que *Canna indica* fue la especie con mejor supervivencia y adaptación, pese a requerir un periodo de aclimatación. Asimismo, Camizan y Zapata (2022) señalaron que *Canna indica* destaca por su capacidad de remoción de nitrógeno y fósforo.

En el caso de las especies flotantes, la elección de *Eichhornia crassipes y Pistia stratiotes* se justifica por su rápido crecimiento y extensa masa radicular, que favorece la retención de sólidos y la absorción de nutrientes. Estudios internacionales como Rezania et al. (2015) respaldan su uso en climas tropicales. Una diferencia importante respecto a otros antecedentes es que esta investigación priorizó especies disponibles localmente, mientras muchos estudios usan totora, carrizo o juncos no siempre abundantes en la selva central.

El diseño técnico planteado consideró un caudal de 1 m^3/día, TRH total de 6 días, pretratamiento con sedimentador y trampa de grasas, seguido por unidades vertical, horizontal y pulido superficial. Este enfoque coincide con Ramírez y Mogollón (2020), quienes señalaron que el éxito de un humedal depende del diseño hidráulico, constructivo y ambiental, especialmente del tiempo de retención, pendiente, profundidad y sustrato. Del mismo modo, Joaquín (2021) destacó que la estimación correcta del caudal y el dimensionamiento hidráulico son determinantes para la viabilidad del sistema. En la presente investigación, la incorporación de una trampa de grasas previa fue especialmente importante por la naturaleza agroindustrial del efluente, lo cual representa una mejora frente a diseños orientados exclusivamente a aguas domésticas.

Después del tratamiento, se obtuvieron reducciones importantes en parámetros críticos: Turbidez: 92%, SST: 69% y conductividad: 49%, estos resultados evidencian una mejora técnica significativa del efluente tratado. Los hallazgos son comparables con Rubio y Montenegro (2018), quienes reportaron remoción de 89.13% en SST y 98.15% en DBO_5 en un humedal horizontal con Juncus en San Martín. Asimismo, Mandaré (2023) obtuvo reducciones superiores al 58% en SST usando especies macrófitas en humedal superficial agroindustrial.

Aunque la reducción de SST en esta tesis fue ligeramente menor que la reportada por Rubio y Montenegro, debe considerarse que el efluente tratado corresponde a un proceso agroindustrial con características distintas al agua doméstica y con partículas finas de origen vegetal difíciles de sedimentar. Respecto a la DBO, no se observó reducción porque el valor inicial ya era bajo

(2 mg/L), lo que limitó el potencial de cambio estadístico. Esto no implica ineficiencia del sistema, sino baja carga orgánica inicial.

Los resultados obtenidos son consistentes con la literatura nacional e internacional que reconoce a los humedales artificiales como una tecnología efectiva para reducir sólidos, turbidez y carga contaminante. La principal fortaleza de esta investigación radica en adaptar dicha tecnología al contexto tropical de la selva central peruana, utilizando especies disponibles localmente y un diseño técnicamente viable para pequeñas agroindustrias.

CONCLUSIONES

La caracterización inicial del agua residual descargada por la empresa agroindustrial hacia la cuenca del río Perené evidenció una afectación principalmente asociada a parámetros físicos, destacando valores elevados de turbidez, sólidos suspendidos totales y conductividad eléctrica. Estos resultados muestran que el efluente arrastra partículas orgánicas y minerales provenientes del procesamiento del jengibre, lo que confirma la necesidad de implementar un tratamiento previo antes de su vertimiento al cuerpo receptor.

El análisis comparativo de los distintos tipos de humedales artificiales permitió establecer que los sistemas híbridos, conformados por flujo subsuperficial vertical, flujo subsuperficial horizontal y una etapa final de pulido superficial, representan la alternativa más adecuada para este tipo de efluente. Su selección se sustenta en la capacidad de combinar procesos aerobios, anóxicos y de filtración, lo que incrementa la eficiencia global del tratamiento.

La evaluación de especies vegetales adaptadas a condiciones tropicales permitió identificar a *Arundo donax* y *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) como las especies más adecuadas para el sistema propuesto. Ambas presentan alta capacidad de adaptación al clima de Pichanaqui, un sistema radicular favorable para el desarrollo de comunidades microbianas y eficiencias reportadas de remoción superiores al 70% para parámetros como DBO y sólidos suspendidos totales, lo que respalda su uso en humedales artificiales destinados al tratamiento de aguas residuales agroindustriales.

El diseño técnico planteado, considerando caudal de operación, tiempo de retención hidráulica, profundidad del lecho, tipo de sustrato y selección vegetal, demostró ser funcional para condiciones piloto y replicable a mayor escala. La incorporación de pretratamiento mediante sedimentador y trampa de grasas mejora el desempeño hidráulico del sistema y reduce riesgos de colmatación prematura. La evaluación del agua tratada confirmó que el sistema de humedales artificiales mejoró la calidad del efluente, logrando reducciones de 92% en turbidez, 69% en sólidos suspendidos totales y 49% en conductividad eléctrica. Aunque estadísticamente no se detectaron diferencias significativas por el tamaño reducido de muestra, los resultados operativos evidencian que la tecnología propuesta constituye una alternativa sostenible, eficiente y apropiada para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales en la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a la empresa agroindustrial implementar un programa permanente de monitoreo de la calidad del agua residual en el punto de descarga, incorporando evaluaciones periódicas de turbidez, sólidos suspendidos totales, DBO, aceites y grasas, con la finalidad de controlar variaciones operativas y prevenir impactos sobre la cuenca del río Perené.

Para futuras aplicaciones a escala real, se sugiere adoptar el sistema híbrido de humedales artificiales propuesto, integrando unidades de flujo subsuperficial vertical, horizontal y una celda final de pulido, debido a que esta configuración ofrece mejores condiciones para remover contaminantes físicos y orgánicos de manera complementaria.

Se recomienda priorizar el empleo de especies vegetales adaptadas a las condiciones climáticas de Pichanaqui, como Arundo donax y Chrysopogon zizanioides (vetiver), debido a su alta capacidad de adaptación y aporte al alto desempeño al sistema de tratamiento. Asimismo, es necesario aplicar periódicamente poda, recalce y cosecha de la cobertura vegetal, con el fin de preservar la eficiencia hidráulica y los procesos biológicos que tienen lugar en el humedal. Por otra parte, se recomienda destinar las macrófitas flotantes, como Fichhornia crassipes y pistia stratiotes, únicamente a la etapa final de pulido superficial, considerando las condiciones particulares que demanda su manejo y mantenimiento.

Durante la construcción e implementación del humedal artificial, se aconseja considerar adecuadamente el pretratamiento mediante sedimentador y trampa de grasas, así como seleccionar sustratos de granulometría apropiada, con el propósito de evitar obstrucciones, colmatación temprana y pérdida de capacidad operativa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Public Health Association. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.).* APHA.

Arevalo, M., Barreta, D., & Chica, M. (2021). *Aplicación de humedales artificiales verticales para tratamiento de aguas residuales en Cuenca.* [Tesis de pregrado, Universidad del Azuay]. Obtenido de http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11070

Arizabal, T., & Vanny, K. (2018). *Implementación de humedales artificiales para mejorar la calidad de las aguas residuales pre-tratadas de la industria del curtido de cuero en el Parque Industrial Río Seco – Arequipa.* [Tesis de pregrado, Universidad Catolica de San María]. Obtenido de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8259

Armstrong, W., Cousins, J., Turner D, & Beckett, P. (2000). Oxygen distribution in wetland plant roots and permeability barriers to gas-exchange with the rhizosphere: A microelectrode and modelling study with Phragmites australis. *Ann Bot-London, 86*(3), 687-703. doi:http://dx.doi.org/10.1006/anbo.2000.1236

Arteaga, V., Quevedo, A., Del Valle, D., Castro, M., Bravo, A., & Ramirez, J. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnol. cienc. agua, 10*(5), 319-343. doi:https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12

Autoridad Nacional del Agua. (2016). *rotocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales.* Lima, Perú: (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA). Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales

Camizan, M., & Zapata, C. (2022). *Revisión sistemática: aguas residuales y su tratamiento ecotegnológico con humedales artificiales (CWs) en el sector acuícola.* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/96349

Castañeda, V. (2022). Experiencias en la utilización de humedales artificiales para el saneamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones rurales. *Ambiens Techné Et Scientia México, 10*(2), 207-220. doi:https://atsmexico.org/atsm/article/view/125

Castillo, M. (2022). Evaluation of an artificial wetland in the agroindustrial residual water treatment. *Revista Palenque Universitario, 2*(1), 177-189. doi:http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/rpalenque/article/view/1691/1493

Cerna, A., Escalante, C., Figueroa, B., Cornejo, J., & Ramirez, W. (2022). Calidad de agua para riego en la cuenca Huallaga, Perú. *13*(3), 239-248. doi:https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.022

Cusiche, L., & Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas, 10*(6), 1433-1447. doi:https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870

Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2020). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Obtenido de Universidad Mayor de San Simón Bolivia: https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf

Dotro, G., Langergraber , G., Molle, P., Nivala, J., Pulgagut, J., & Stein, O. (2021). Biological Wastewater Treatment Series Volume 7: Treatment Wetlands. *IWA Publishing*. doi:10.2166/9781780408774

El Peruano. (23 de Marzo de 2003). *Ley N° 27972 Ley organica de municipalidades.* Recuperado el 6 de Mazo de 2024, de https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/229447-27972

El Peruano. (21 de Abril de 2017). *Ley N° 28611 Ley general del Ambiente.* Recuperado el 6 de Marzo de 2024, de https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/3569-28611

Fernandez, J., Murillo, F., & Garcia, J. (2024). Evaluación vegetativa para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales "Vinaza" por medio de humedales construidos. *Revista Internacional de Desarrollo Regional Sustentable, 9*(2), 74-83. doi:http://www.rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/168

Ferreira, L., Fernandez, J., Perez, J., Tavares, P., & Lucas, M. (2021). Wireless UVA LEDs-driven AOP in the treatment of agro-industrial wastewaters. *Environ. Res*, 200. doi:https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111430

Fonseca, C. (2010). *Manual de Derecho Ambiental.* Adrus.

Fundación Aquae. (29 de Noviembre de 2023). *¿Qué es la contaminación ambiental?* Obtenido de https://www.fundacionaquae.org/wiki/causas-contaminacion-ambiental/

Galarza, C., Alegre, C., & Merzthal, Y. (2020). *Aprende a prevenir los efectos del mercurio, Salud y Ambiente.* Ministerio del ambiente del Perú. Obtenido de

https://www.minam.gob.pe/educacion/wp-content/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-1.-Texto-de-consulta-Módulo-1-1.pdf

Gallardo, L., Donoso, C., Inca, J., & Pilco, E. (2024). Depuración de aguas residuales de una industria láctea por medio de humedales artificiales de totora. *Polo del Conocimiento, 9*(5), 1005-1019. doi:https://doi.org/10.23857/pc.v9i5.7178

Gao, P., & Zhang, C. (2022). Study on Phosphorus Removal Pathway in Constructed Wetlands with Thermally Modified Sepiolite. *Sustainability, 14*(19), 12535. doi:http://dx.doi.org/10.3390/su141912535.

García, J., Rousseau, D., Morató, J., Lesage, E., Matamoros, V., & Bayona, J. (2021). Contaminant removal processes in subsurface-flow constructed wetlands: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 40*(7), 561–661. doi:https://doi.org/10.1080/10643380802471076

Gato, J. (2019). *Mapa de Pichanaqui.* Obtenido de https://designscad.com/downloads/plano-pichanaki-physical-dwg-block-autocad/

Gulam, M., Hussain, S., Liu, Y., Ali, I., Liu, J., & Bana, H. (2024). Microbiology of wetlands and the carbon cycle in coastal wetland mediated by microorganisms. *Science of The Total Environment, 954*. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175734

Hernandez, R., & Mendoza, C. (2019). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw-Hill Education.

Hernandez, S., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación.* Mc Graw Hill Education.

Inga, E., Paitan, M., & Laurente, J. (2024). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales mejorados con rizobacterias del vertimiento N.º 8 - Parra del Riego - ElTambo - Huancayo.* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15084/5/IV_FIN_107_TE_Inga_Paitan_Laurente_2024.pdf

Ingrao, C., Failla, S., & Arcidiacono, C. (2020). A comprehensive review of environmental and operational issues of constructed wetland systems. *Current Opinion in Environmental Science y Health, 13*, 35-45. doi:https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.00

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2023). *Estadísticas ambientales del departamento de Junín: Gestión de aguas residuales en el sector agroindustrial.* Obtenido de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1926/libro.pdf

Joaquin, L. (2021). *Diseño de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales en Chacapampa - Huancayo.* [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12848/2828

Linazasoro, I. (2012). *La buena administración como regla.* Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/63911299/Linazasoro_2020_La_buena_administracion_como_regla__de_adaptabilidad_ante_el_cambio_climatico20200713-23337-5gxrqj-libre.pdf?1594678153=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DLa_buena_administraci

Lopez, F. (2023). *Manual de derecho ambiental y urbanístico.* Prensas Universitaria de Zaragoza.

Ma, L., Jiang, X., Liu, G., Yao, L., Liu, W., Pan, Y., & Zuo, Y. (2020). Environmental Factors and Microbial Diversity and Abundance Jointly Regulate Soil Nitrogen and Carbon Biogeochemical Processes in Tibetan Wetlands. *Environmental Science & Technology, 54*(6), 3267–3277. doi:https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06716

Mandaré, N. (2023). *Remoción de los contaminantes de aguas agroindustriales a través de humedal artificial de flujo superficial con Cyperus laevigatus L. y Schoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Sojak.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.14095/2458

MINAM. (30 de Julio de 2008). Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua D.S 002-2008. *El Peruano*, págs. 6-8. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_002-2008-minam.pdf

MINAM. (2019). *Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental para Agua.* Obtenido de Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf

MINAM. (2020). *Informe de calidad de agua en cuencas de la selva central.* Obtenido de Calidad de agua para riego en la cuenca Huallaga, Perú: https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/4326#:~:text=De%2

0los%20139%20puntos%20de,puntos%20cr%C3%ADticos%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos.

Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. (2022). *Constitucion politica del Perú -1993.* Decimosexta Edición. Obtenido de https://spijweb.minjus.gob.pe/wpcontent/uploads/2022/11/DS_Ed_Of_Const_Pol_Perubolsillo.pdf

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.* Obtenido de (1° ed.): https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Paimed, J. (2021). *Fitodepuración.* Obtenido de Mecanismos de remoción de: https://paimed.com/fitodepuracion-de-aguas-residuales/

Penesyan, A., Paulsen, I., Kjelleberg, S., & Gillings, M. (2021). Three faces of biofilms: a microbial lifestyle, a nascent multicellular organism, and an incubator for diversity. *NPJ Biofilms Microbiomes, 7*(1), 80. doi:doi: 10.1038/s41522-021-00251-2

Pinheiro, A., Salla, M., & Bolanos, M. (2019). Post-treatment of effluent household cleaning by conventional and catalytic ozonation. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 27*(2), 223-235. doi:https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000200223

PNUD. (2018). *Manual de humedales artificiales.* Obtenido de Organización Mundial de la Naciones Unidas: https://issuu.com/frederys1712doc/docs/manual_de_humedales_artificiales

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2020). *Constructed Wetlands: A promising wastewater treatment system for small localities.* Obtenido de United Nations Environment Programme.

Quevedo, A. (2021). Diselo y construcción de humedal artificial para la recuperacion de aguas residuales en la población de Alcala. *Revista De Ciencia, Tecnología E Innovación, 19*(24), 133–148. doi:https://doi.org/10.56469/rcti.v19i24.476

Quintero, K., Rodriguez, D., Gonzalez, M., & Arroyave, J. (2021). Evaluación de la remoción de nitrógeno y materia orgánica a través de humedales artificiales de flujo subsuperficial, acoplados a reactores de lecho fijo con microalgas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Revista Ingeniería y Región, 25*, 82-94. doi: 10.25054/22161325.2921

Ramirez, R., & Mogollon, C. (2020). *Diseño hidráulico, constructivo y ambiental de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana del centro]. Obtenido de http://repositorio.upecen.edu.pe/handle/20.500.14127/213

Refulio, M. (2018). *Procesamiento de jengibre fresco orgánico para exportación.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12996/3487

Rimoli, R. (2024). *Diccionario de términos ambientales.* anto Domingo: Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección Nacional de República.

Rodriguez, N. (2020). *Humedales artificiales: Una alternativa para el postratamiento de aguas residuales agroindustriales.* Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.

Rojas, G. (19 de Mayo de 2025). ADEX: "85% de jengibre exportado sale de la región Junín". *Diario Correo*. Obtenido de https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/adex-85-de-jengibre-exportado-sale-de-la-region-junin-noticia/

Rojas, J., Reynoso, F., Castañeda, M., & Velasquez, C. (2023). Remoción de Contaminantes en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial: Una Revisión. *Terra Latinoamericana*, e1715. doi:https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1715

Romero, D. (2021). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de humedales artificiales.* [Tesis de especialización, Fundación Universidad de America]. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.11839/8737

Rubio, J., & Montenegro, A. (2018). *Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martin.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Obtenido de http://hdl.handle.net/11458/2970

Salas, J. (2021). *Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas.* Obtenido de https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccionhumedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales

Salazar, J. (2022). *Manejo Agronómico del cultivo de Jengibre (Zingiber officinale) y sus procesos agroindustriales.* Examen Complexivo-Ingeniería Agronómica. Obtenido de Acta Farmacéutica Bonaerense: http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11340

Salomé, P. (9 de Mayo de 2024). El jengibre, principal cultivo de exportación de Junín, enfrenta el riesgo de perder mercado europeo. *Huanca York Times*. Obtenido de https://hytimes.pe/2024/05/09/el-jengibre-principal-cultivo-de-exportacion-de-junin-enfrenta-el-riesgo-de-perder-mercado-europeo/

Stefanakis, A. (2020). Constructed wetlands: description and benefits of an eco-tech water treatment system. *In Waste management: concepts, methodologies, tools, and applications*, 503-525. doi:http://dx.doi.org/10.4018/978-1-7998-1210-4.ch025

Stottmeister , U., Wiessner, A., Kuschk, P., & Moormann, H. (2024). Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Biotechnology advances*, 93-117. doi:10.1016/j.biotechadv.2003.08.010.

Suarez, Y., & Carhuamaca, A. (2020). *Exportación de jengibre fresco entero y su impacto.* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/15936/5/IV_FCE_315_TE_Carhuamaca_Suarez_2024.pdf

Ticona, B. (2024). *Diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya - Puno.* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada San Carlos]. Obtenido de http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/704

Toledo, S., Aponte, H., & Gil, F. (2023). La conservación de los humedales peruanos: un análisis de su legislación, sanciones y consecuencias. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente, 11*, A-004. doi:https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202301.a004

Trujillo, N. (2023). *Remoción de los contaminantes de aguas agroindustriales a través de humedal artificial de flujo superficial con Cyperus laevigatus L. y Schoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Sojak.* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Sedes Sapientiae]. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.14095/2458

United States Department of Agriculture. (7 de Julio de 2020). *Food Data Central.* Obtenido de https://fdc.nal.usda.gov/index.html

Valencia, N. (2020). *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia.* Obtenido de Humedales artificiales: Una alternativa para el postratamiento deaguas residuales agroindustriale: https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/2_Humedales_artificia

Vergaray, L., Palma, L., Moreno, M., Palomino, J., Loayza, R., & Collas, M. (2022). Humedal estacionario construido para el tratamiento de drenaje ácido de mina de la Planta

Concentradora de Mesapata-Catac. *Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional SantiagoAntúnez de Mayolo*, 1-12. doi:https://doi.org/10.32911/as.2022.v15.n1.926

Vymazal, J. (2022). The Historical Development of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Environmental Science & Technology*, *11*(2), 174. doi:https://doi.org/10.3390/land11020174

Wang, Y. (24 de Junio de 2023). *¿Cómo se lava el jengibre en una planta de lavado de jengibre?* Obtenido de Taizy: https://gingermachines.com/es/Info/ginger-washing-plant/

Wei, J., Keenahan, J., & Cotteril, S. (2025). Review of Experimental Methods and Numerical Models for Hydraulic Studies in Constructed Wetlands. *Sustainability*, *17*(8), 3303. doi:https://doi.org/10.3390/su17083303

ANEXOS

ANEXO 1

Instrumentos de recolección de datos

Como primer instrumento tenemos la Ficha de monitoreo, que tiene el objetivo de registrar los datos obtenidos in situ durante el muestreo en el punto de vertimiento al río Perené.

Parámetro	Unidad	Método in situ	Observaciones
Temperatura	°C	Termómetro digital	Se toma al momento del muestreo
pH	-	Potenciómetro portátil	Calibrado antes de cada salida
Ubicación	Coordenadas UTM	GPS	Punto georreferenciado
Hora y fecha de muestreo	-	Registro manual	Incluye nombre del responsable
Color, olor, aspecto del agua	-	Observación directa	Descripción cualitativa

Nota. Elaboración Propia

Ficha de análisis de laboratorio de aguas residuales con el objetivo de registrar los resultados del análisis de laboratorio sobre parámetros contaminantes del agua residual agroindustrial; esta será dada por el laboratorio donde se enviarán las muestras.

Ficha de caracterización de especies vegetales con el objetivo de evaluar las condiciones morfológicas, adaptación y funcionalidad de especies vegetales candidatas:

Especie	Estado general	Observaciones de crecimiento	Días de adaptación	Observaciones adicionales
Typha domingensis				
Eleocharis palustris				
Heliconia spp.				
ETC				

Nota. Elaboración propia

Por último, una hoja de cálculo del diseño técnico del humedal, para determinar las dimensiones y parámetros operativos del sistema de tratamiento, que se encuentre como plantilla Excel basada en:

- Cálculo del área (fórmula de Kadlec)
- Tiempo de retención hidráulico (TRH)
- Relación de aspecto (largo/ancho)
- Volumen útil del humedal

ANEXO 2

Formato de validación por expertos

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

1.1 Apellidos y nombres del experto: ……

1.2 Grado académico: ……

1.3 Cargo e institución donde labora el experto: ……

1.4 Título de la Investigación: ……..……..

1.5 Autor del instrumento: ……..……

1.6 Maestría/ Doctorado/ Mención: ……..……

1.7 Nombre del instrumento: ……..……..

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy Bueno 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.					
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.					
3. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de ciencia y tecnología.					
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.					
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad.					
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio.					
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos Teóricos-Científicos y del tema de estudio.					
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables.					
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del estudio.					
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías.					
SUB TOTAL						
TOTAL						

OBSERVACIONES: ……..…..

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: ……

Lugar y fecha: ……

Firma de experto DNI: ……

ANEXO 3

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
General	**General**	**Variable independiente**: Diseño del sistema de tratamiento mediante humedales artificiales	Tipo de humedal artificial (superficial, subsuperficial, vertical, horizontal)	**Enfoque:** Cuantitativa
¿Cómo diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas por una empresa agroindustrial de jengibre mediante humedales artificiales en el distrito de Pichanaqui, Junín, 2025?	Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas por una empresa agroindustrial de jengibre mediante humedales artificiales en el distrito de Pichanaqui, Junín, 2025.		Especies vegetales adaptadas	**Tipo:** Aplicada
Específicas	**Específicos**		Configuración técnica del sistema (flujo, profundidad, sustrato, tamaño)	**Nivel:** Explicativo
¿Cuál es la calidad actual del agua de la cuenca del río Perené en la zona baja según los parámetros de DBO_5, turbidez, SST, aceites y grasas?	Determinar la calidad actual del agua en el punto de vertimiento de la empresa agroindustrial a la cuenca del río Perené según los parámetros de DBO_5, SST, turbidez, aceites y grasas.			**Diseño:** Cuasiexperimental
				Población: Aguas residuales generadas por la agroindustria.
				Muestreo: Muestra representativa de agua residual tomadas
¿Qué tipo de humedal artificial es el más adecuado para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial?	Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado en el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial.	**Variable dependiente**: Calidad del agua residual tratada	Parámetros fisicoquímicos: DBO_5, SST, aceites y grasas	**Técnica:** Muestreo de agua, análisis de laboratorio, revisión documental.
¿Qué especies vegetales de humedales artificiales adaptadas en la zona de Pichanaqui son más efectivas para el tratamiento de aguas residuales?	Analizar sistemáticamente especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en la zona de Pichanaqui para el tratamiento de aguas residuales.		Eficiencia del tratamiento (pre y post del proceso)	**Análisis:** Análisis estadístico descriptivo. Comparación pre y post tratamiento.
¿Cuál es el diseño técnico adecuado de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial?	Proponer un diseño técnico del sistema de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de la empresa agroindustrial.			**Línea de investigación:** Calidad Ambiental - Técnicas de tratamiento, control y mitigación de la contaminación ambiental.

Nota. Elaboración propia

ANEXO 4

Estándares de calidad ambiental para agua – Categoría III, riego de vegetales

Parámetros	Unidad	Vegetales tallo bajo	Vegetales tallo alto
		Valor	Valor
Biológicos			
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	1000	2000(3)
Coliformes totales	NMP/100 ml	5000	5000(3)
Enterococos	NMP/100 ml	20	100
Echerichia coli	NMP/100 ml	100	100
Huevos de helmintos	Huevos/L	<1	<1(1)
Salmonella spp.	Ausente	Ausente	Ausente
Vibrion cholerae	Ausente	Ausente	Ausente
Fisicoquímicos			
Bicarbonatos	mg/L	370	
Calcio	mg/L	200	
Carbonatos	mg/L	5	
Cloruros	mg/L	100-700	
Conductividad eléctrica	uS/cm	<2000	
DBO_5	mg/L	15	
Fluoruros	mg/L	1	
Fosfatos – P	mg/L	1	
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10	
Nitritos (NO2-N)	mg/L	0.06	
Oxígeno disuelto	mg/L	≥4	
pH	Unid. de pH	6.5 – 8.5	
Sodio	mg/L	200	
Sulfatos	mg/L	300	
Sulfuros	mg/L	0.05	

Fuente: (MINAM, 2008)

ANEXO 5

Estándares de calidad ambiental para agua – Categoría III, bebidas de animales.

Parámetros	Unidad	Valor
Físico-químicos		
Conductividad eléctrica	uS/cm	≤5000
DBO_5	mg/L	≤15
Fluoruro	mg/L	2
Nitratos (NO_3-N)	mg/L	50
Nitritos (NO_2-N)	mg/L	1
Oxígeno disuelto	mg/L	>5
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0.05
Biológicos		
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	1000
Coliformes totales	NMP/100ml	5000
Enterococos	NMP/100ml	20
Echerichia coli	NMP/100ml	100
Huevos de helmintos	Huevos/L	<1
Salmonella spp.	Ausente	Ausente
Vibrion cholerae	Ausente	Ausente

Fuente: (MINAM, 2008)

ANEXO 6

Estándares de calidad ambiental para agua – Categoría IV, conservación del ambiente acuático.

Parámetros	Unidades	Lagunas ylagos	Ríos		Ecosistemas marinos costeros	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Físicos y químicos						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de película visible			1	1
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno amoniacal	mg/L	<0.02	0.02	0.05	0.05	0.08
Temperatura	°C	----	----	----	----	Delta 3°C
Oxígeno disuelto	mg/L	≥5	≥5	≥5	≥4	≥4
pH	Unidad	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	----	6.8 – 8.5	6.8 – 8.5
Sólidos disueltos totales	mg/L	500	500	500	500	----
SST	mg/L	≤25	≤ 25-100	≤ 25 -400	≤ 25 -100	30.00
Inorgánicos						
Arsénico	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	0.05
Bario	mg/L	0.7	0.7	1	1	----
Cadmio	mg/L	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005
Cianuro libre	mg/L	0.022	0.022	0.022	0.022	----
Clorofila A	mg/L	10	----	----	----	----
Cobre	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05
Cromo VI	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Fenoles	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.001	----
Fosfatos totales	mg/L	0.4	0.5	0.05	0.5	0.031 -0.093
Mercurio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0001	0.001	0.0001
Nitratos	mg/L	5	10	10	10	0.07 –0.28
Nitrógeno total	mg/L	1.6	1.6		----	----
Níquel	mg/L	0.025	0.025	0.025	0.002	0.0082
Plomo	mg/L	0.001	0.001	0.001	0.0081	0.0081
Silicatos	mg/L	----	----	----	----	0.14 – 0.7
Sulfuro de hidrógeno	mg/L	0.002	0.002	0.002	0.002	0.06
Zinc	mg/L	0.03	0.03	0.3	0.03	0.061
Microbiológicos						
Coliformes termotolerantes	(NMP/100 ml)	1000	2000		1000	≤30
Coliformes totales	(NMP/100 ml)	2000	3000		2000	

Fuente: (MINAM, 2008)

ANEXO 7

Empresas exportadoras de jengibre de Junín, periodo 2018-2020 en miles de dólares

#	Razón Social	RUC	2018	2019	2020
1	Jch Organic Sociedad Anónima Cerrada	20606088141	-	-	USD 6,655,646.71
2	Rte Amazon S.A.C.	20603529171	-	USD 426,121.84	USD 2,922,653.45
3	Elisur Organic S.A.C.	20601116431	USD 127,778.86	USD 2,018,482.73	USD 5,951,657.67
4	Tropic-x S.A.C.	20600451317	USD 504,883.40	USD 891,257.71	USD 2,522,866.96
5	E & J Gavilan Export S.A.C.	20604789231	-	-	USD 1,404,688.70
6	Vancard Perú Sociedad Anónima Cerrada	20605609857	-	-	USD 1,938,524.75
7	Doña Dorotea S.A.	20539964349	USD 183,629.86	USD 087,605.54	USD 218,002.00
8	Sol Produce Perú S.A.C.	20604436134	-	USD 73,992.86	-
9	Agroexportaciones Llacta S.A.C.	20600861647	-	USD 28,800.00	USD 426,758.40
10	Agro Develop Perú Sociedad Anónima Cerrada	20604671842	-	USD 965,318.12	USD 2,602,475.84
11	La Campiña Perú S.A.C.	20568617267	USD,474,681.74	USD 1,701,892.02	USD 2,805,716.94
12	Asociación de Productores Agro sostenibles Villa Ecológica Perú	20568194951	-	-	USD 290,017.60
13	Forest Sun S.A.C.	20603448660		USD 613,868.73	USD 2,479,294.84
14	Velo Fruits S.A.C.	20602781691	-	-	-
15	Hamillton Farm Perú S.A.C.	20603148879	USD 250,684.00	USD 1,048,385.40	USD 1,613,948.50
16	Happy Veg S.A.C.	20604801002	-	USD 806,904.00	USD 3,207,534.55
17	Agro Selecta Selva Central Empresa Individual de Responsabilidad Limitada	20606927755	-	-	-
18	Asociación de Agricultores Selva Organic	20602234330	USD 146,880.00	USD 24,443.34	USD 189,516.00
19	Oml Agro inversiones Perú S.A.C.	20601647860	-	-	-
20	Trilladora Jn Export & Import S.A.C.	20568817860	-	-	USD 34,560.00

Nota. Adaptado de (Suarez & Carhuamaca, 2020)

ANEXO 8. Modelo para el metaanálisis de tasas de remoción en humedales

Nº	Autor(es) / Año	Tipo de humedal (FS, HFSSH, FV, híbrido)	País / Clima	Parámetro evaluado	DBO_5 (%)	Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						

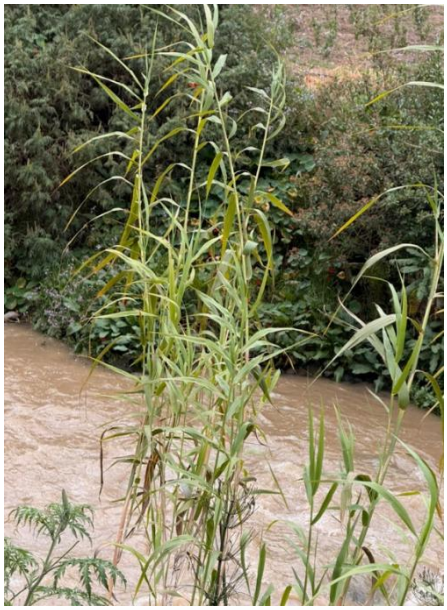
Nota. Elaboración propia

Modelo para la revisión bibliográfica y mapeo

Nº	Autor(es) / Año	Título del estudio	Base de datos (Scopus/SciELO)	Palabras clave	Tipo de documento	Relevancia (Alta/Media/Baja)
1						
2						
3						
4						
5						

Nota. Elaboración propia

ANEXO 9. Plantas en ambiente natural





a) *Arundo donax* en su ambiente natural en la ribera del río Sonomoro en la provincia de Satipo.





b) *Arundo donax* en su ambiente natural en la ribera del río Perené en la provincia de Chanchamayo, conocido también por su nombre común carrizo de río.

ANEXO 10. Proceso de jengibre



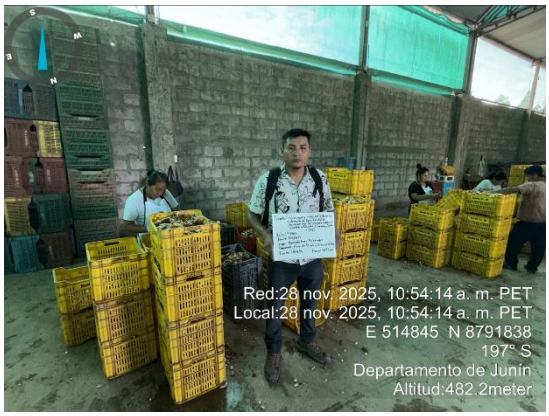


a) Primer proceso es el acopio de kion fresco en jabas para el lavado, picado y secado en la planta de beneficio, en el distrito de Pichanaqui.





b) Segundo proceso es el lavado del kion en el tambor, esta máquina gira sobre su eje, dentro de la cámara tiene una zaranda que quita los restos orgánicos y raíces con agua a presión, y el agua residual va directo a la zanja de acopio.



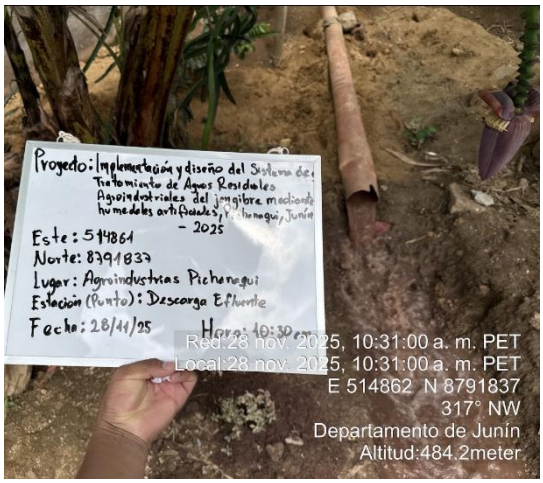


c) Tercer proceso se drena y pica el kion, de quita los restos imperfectos y raíces que quedaron y se vierte el agua residual a la zanja de acopio.





d) Cuarto proceso se clasifica por calidad y se deshidrata en las tarimas expuestas al sol durante un periodo de 2 días o según su beneficio.





e) Quinto proceso se vierte el agua residual drenado a la zanja de acopio que se transporta de la planta al rio perené con una tubería de 200 mm.

ANEXO 11. Construcción del prototipo



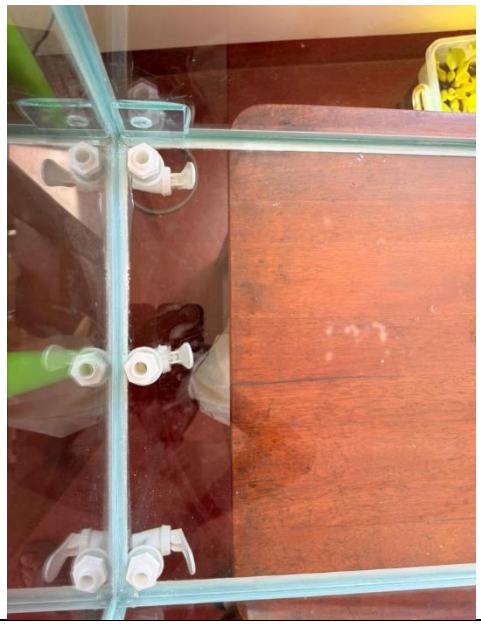


a) Elaboración del sistema de drenaje y oxigenación de agua residual, con PVC de ½ pulgada con codos de ½, con perforaciones simétricas cada 2 cm, con un ancho de 38 cm y una altura de 40 cm.





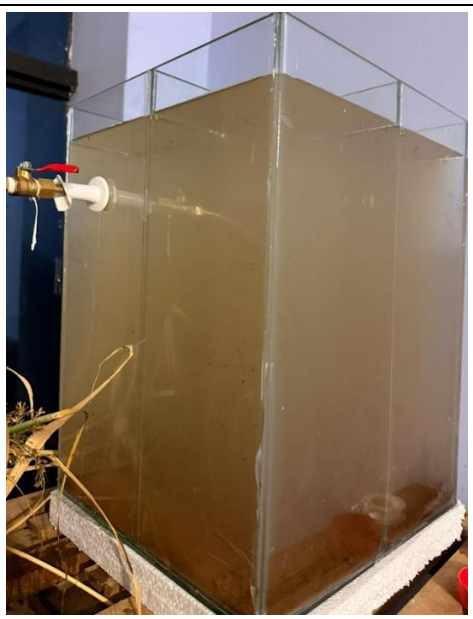
b) Colocación de las capas de arena fina 10 cm, arena gruesa, gravilla 10 cm y grava 15 cm en un área de 40cm x 80 cm en una caja de vidrio templado.





c) Instalación de sistemas de grifos para drenaje de agua tratada en los puntos de salida.





d) Caja de vidrio para el sedimentador, trampa de grasas y solidos suspendidos y materia orgánica.





e) Caja de vidrio para el sedimentador, trampa de grasas y solidos suspendidos y materia orgánica.





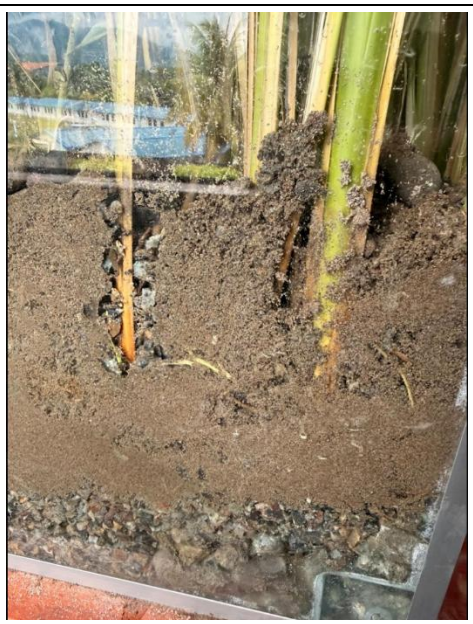
f) Caja de vidrio para el sedimentador, trampa de grasas y solidos suspendidos y materia orgánica.





g) Adaptación del vetiver al prototipo a las 2 semanas de instalación en el prototipo con riego de agua residual de 20 litros cada día con un TDR de 48 horas.





h) Crecimiento de nuevas hojas y crecimiento radicular con penetración a la última capa y de nuevas plantas en la segunda capa a las 5 semanas.





i) Adaptación de Arundo donax en el prototipo en la segunda semana con riego de agua residual de 20 litros por día con TDR de 48 horas.





j) Renovación de tallos y hojas a las 4 semanas y crecimiento de nuevas guías y penetración de la raíz a la segunda y tercera capa.

ANEXO 13. Muestra inicial





k) Renovación de tallos y hojas a las 4 semanas y crecimiento de nuevas guías y penetración de la raíz a la segunda y tercera capa.





l) Renovación de tallos y hojas a las 4 semanas y crecimiento de nuevas guías y penetración de la raíz a la segunda y tercera capa.

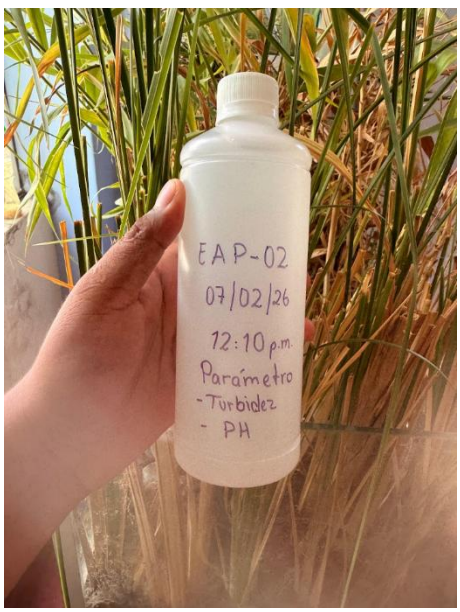
ANEXO 14. Muestra final





m) Renovación de tallos y hojas a las 4 semanas y crecimiento de nuevas guías y penetración de la raíz a la segunda y tercera capa.





n) Renovación de tallos y hojas a las 4 semanas y crecimiento de nuevas guías y penetración de la raíz a la segunda y tercera capa.

ANEXO 14. Análisis de agua residual

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-58620

Nº Id.: 0000199680

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: OLORTEGUI BRAVO ARNOLD SHUARNERG
2.- DIRECCIÓN	: no indica
3.- PROYECTO	: IMPLEMENTACION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DEL JENGIBRE MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES, PICHANAQUI, JUNIN-2025
4.- PROCEDENCIA	: PICHANAQUI-JUNIN
5.- SOLICITANTE	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORES SCRL.
6.- PRODUCTO	: Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000008622-2025-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2026-01-12

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2- NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2025-12-12
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2025-12-12 al 2026-01-12

Mgtr. Ing. Lic. Fredy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-58620

N° Id.: 0000199680

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Aceites y Grasas IR	ASTM D8193-18, 2019. (Validado - Modificado), 2023.	Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction Using Non-Dispersive Mid-IR Transmission Spectroscopy	INACAL LE - 096 CHALACA
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2023.	Conductivity. Laboratory Method.	INACAL LE - 096 CHALACA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. / Part 4500-O H, 24th Ed. 2023.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (dissolved). Optical-Probe Method	INACAL LE - 096 CHALACA
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	INACAL LE - 096 CHALACA
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 24th Ed. 2023.	Turbidity. Nephelometric Method	INACAL LE - 096 CHALACA

"ASTM": American Society for Testing Materials
"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR MZ. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-58620

N° Id.: 0000199680

V.- RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-128809	M-25-128810
CÓDIGO CLIENTE (A)	AGU-01	AGU-02
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)	E:0514861 N:8791837	E:0514859 N:8791837
PRODUCTO (A)	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO (A)	Agua Superficial	Agua Superficial
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)	11-12-2025 10:30	11-12-2025 11:20

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	561,00	553,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,8	2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	204,00	405,00
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,00	5,00	164,00	379,00
Aceites y Grasas IR (*)	mg/L	0,2	0,5	<0,5	<0,5

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-58621

N° Id.: 0000199681

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORES SCRL.
2.- DIRECCIÓN	: R. 2 DE MAYO MZA. A LOTE. 14 URB. CAYHUAYNA (AL COSTADO DE LA CHOZA DE TARZAN) HUANUCO - HUANUCO - PILLCO MARCA
3.- PROYECTO	: IMPLEMENTACION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DEL JENGIBRE MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES, PICHANAQUI, JUNIN-2025
4.- PROCEDENCIA	: PICHANAQUI-JUNIN
5.- SOLICITANTE	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORÉS SCRL.
6.- PRODUCTO	: Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000008622-2025-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2025-12-26

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2- NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2025-12-12
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2025-12-12 al 2025-12-26

Mgtr. Ing. Lic. Freddy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-58621

N° Id.: 0000199681

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 24th Ed. 2023.	Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. 2023.	pH Value Electrometric Method

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz 02 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-25-58621

Nº Id.: 0000199681

V.- RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-128809	M-25-128810
CÓDIGO CLIENTE (A)	AGU-01	AGU-02
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)	E:0514861 N:8791837	E:0514859 N:8791837
PRODUCTO (A)	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO (A)	Agua Superficial	Agua Superficial
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)	11-12-2025 10:30	11-12-2025 11:20

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Oxígeno Disuelto (**)	mg DO/L	NA	0,10	6,88	6,86
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,08	6,15

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-690

N° Id.: 0000199782

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: OLORTEGUI BRAVO ARNOLD SHUARNERG
2.- DIRECCIÓN	: no indica
3.- PROYECTO	: IMPLEMENTACION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DEL JENGIBRE MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES, PICHANAQUI, JUNIN-2025
4.- PROCEDENCIA	: PICHANAQUI-JUNIN
5.- SOLICITANTE	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORES SCRL.
6.- PRODUCTO	: Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 000000131-2026-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2026-03-05

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2.- NÚMERO DE MUESTRAS	:1
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2026-02-10
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2026 02-10 al 2026-03-05

Mgtr. Ing. Lic. Freddy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756/713 0638
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2' Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP. SEDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 618 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D8 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0638
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 20, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0638
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-690

Nº Id.: 0000199782

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 24th Ed. 2023.	Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. 2023.	pH Value Electrometric Method

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL
Av. Cuarta Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756/713 0636
Cel.: 977 516 675 / 932 111379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SEUSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf. (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. Los Jardín III Etapa Mz. D9 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-690

Nº Id.: 0000199782

V.- RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-1288014
CÓDIGO CLIENTE [A]	AGU-01
COORDENADAS - UTM WGS 84 [A]	E:0514861 N:8791837
PRODUCTO [A]	Agua Natural
SUB PRODUCTO [A]	Agua Superficial
FECHA y HORA DE MUESTREO [A]	09-02-2026 08:55

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Oxígeno Disuelto (**)	mg DO/L	NA	0,10	4,08
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	7,00

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

[A]Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca Nº 1877, Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756/713 0636
Cel.: 977 518 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt 3, Bellavista, Callao
Cel.: 977 518 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP. SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf. (+054) 638 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D8 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096

INACAL
DA- Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-691

N° Id.: 0000199783

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: OLORTEGUI BRAVO ARNOLD SHUARNERG
2.- DIRECCIÓN	: no indica
3.- PROYECTO	: IMPLEMENTACION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DEL JENGIBRE MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES, PICHANAQUI, JUNIN-2025
4.- PROCEDENCIA	: PICHANAQUI-JUNIN
5.- SOLICITANTE	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORES SCRL.
6.- PRODUCTO	: Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 000000131-2026-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2026-03-05

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2.- NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2026-02-10
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2026-02-10 al 2026-03-05

Mgtr. Ing. Lic. Fredy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf: (+511) 713 0756/713 0636
Cel: 977 516 675 / 937 111379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz 02 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf: (+054) 616 843
Cel: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. 08 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel: 929 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel: 929 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-691

Nº Id.: 0000199783

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Aceites y Grasas IR	ASTM D8193-18, 2019. (Validado - Modificado), 2023.	Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction Using Non-Dispersive Mid-IR Transmission Spectroscopy	INACAL LE - 096 CHALACA
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2023.	Conductivity. Laboratory Method.	INACAL LE - 096 CHALACA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. / Part 4500-O H, 24th Ed. 2023.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (dissolved). Optical-Probe Method	INACAL LE - 096 CHALACA
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	INACAL LE - 096 CHALACA
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 24th Ed. 2023.	Turbidity. Nephelometric Method	INACAL LE - 096 CHALACA

"ASTM": American Society for Testing Materials
"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao.
Telf.: (511) 712 0758/713 0636
Cel.: 977 518 875 / 937 111 879

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt 3, Bellavista, Callao.
Cel.: 977 518 875 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SEISSUR Mz. E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 619 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 26, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-691

Nº Id.: 0000199783

V.- RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-128815
CÓDIGO CLIENTE (A)	AGU-01
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)	E:0514861 N:8791837
PRODUCTO (A)	Agua Natural
SUB PRODUCTO (A)	Agua Superficial
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)	09-02-2026 08:15

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	285,20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,8	2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	26,40
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,00	5,00	86,20
Aceites y Grasas IR (*)	mg/L	0,2	0,5	<0,5

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877,
Bellavista, Callao.
Telf.: (+511) 713 0756/713 0636
Cel.: 977 516 675 / 937 111 379

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt 3,
Bellavista, Callao.
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9,
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro III Etapa
Mz. D3 Lt. 02,
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 28,
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 096

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-692

N° Id.: 0000199784

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: OLORTEGUI BRAVO ARNOLD SHUARNERG
2.- DIRECCIÓN	: no indica
3.- PROYECTO	: IMPLEMENTACION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DEL JENGIBRE MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES, PICHANAQUI, JUNIN-2025
4.- PROCEDENCIA	: PICHANAQUI-JUNIN
5.- SOLICITANTE	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORES SCRL.
6.- PRODUCTO	: Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 000000147-2026-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2026-03-25

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2- NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2026-02-16
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2026 02-20 al 2026-03-20

Mgtr. Ing. Lic. Freddy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3, Bellavista, Callao
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. B Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro 1° Etapa Mz. D3 Lt. 02, Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A U. 29, Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-692

N° Id.: 0000199784

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO	CONDICIÓN DE ACREDITACIÓN / LUGAR DE ANÁLISIS
Aceites y Grasas IR	ASTM D8193-18, 2019. (Validado - Modificado), 2023.	Standard Test Method for Total Oil and Grease (TOG) and Total Petroleum Hydrocarbon (TPH) in Water and Wastewater with Solvent Extraction Using Non-Dispersive Mid-IR Transmission Spectroscopy	INACAL LE - 096 CHALACA
Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 24th Ed. 2023.	Conductivity. Laboratory Method.	INACAL LE - 096 CHALACA
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. / Part 4500-O H, 24th Ed. 2023.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test / Oxygen (dissolved). Optical-Probe Method	INACAL LE - 096 CHALACA
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2023.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C	INACAL LE - 096 CHALACA
Turbidez	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B. 24th Ed. 2023.	Turbidity. Nephelometric Method	INACAL LE - 096 CHALACA

"ASTM": American Society for Testing Materials
"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

9 SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1577
Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636

9 SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3
Bellavista, Callao
Cel.: 977 516 675 / 932 546 460

9 SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9
Arequipa
Telf.: (+054) 616 643
Cel.: 932 646 642

9 SEDE PIURA
Urb. San Isidro - Etapa
Mz. D3 Lt. 02,
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

9 SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-692

N° Id.: 0000199784

V.- RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-128825	M-25-128826
CÓDIGO CLIENTE (A)	AGU-01	AGU-02
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)	E:0514861 N:8791837	E:0514859 N:8791837
PRODUCTO (A)	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO (A)	Agua Superficial	Agua Superficial
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)	15-02-2026 08:15	15-02-2026 08:45

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Conductividad (*)	µS/cm	NA	0,01	268,00	305,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno (*)	mg/L	0,8	2,0	<2,0	<2,0
Turbidez (*)	NTU	NA	0,01	15,48	32,52
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,00	5,00	81,95	88,00
Aceites y Grasas IR (*)	mg/L	0,2	0,5	<0,5	<0,5

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guarda Chalaca N° 1877
Bellavista, Callao
Telf. (+511) 713 0756 / 713 0636

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt 3
Bellavista, Callao
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9
Arequipa
Telf.: (+054) 618 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro II Etapa
Mz. D3 Lt. 02
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-693

Nº Id.: 0000199785

I.- DATOS DEL CLIENTE Y/O SOLICITANTE

1.- RAZON SOCIAL	: OLORTEGUI BRAVO ARNOLD SHUARNERG
2.- DIRECCIÓN	: no indica
3.- PROYECTO	: IMPLEMENTACION Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES AGROINDUSTRIALES DEL JENGIBRE MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES, PICHANAQUI, JUNIN-2025
4.- PROCEDENCIA	: PICHANAQUI-JUNIN
5.- SOLICITANTE	: JAM CONSULTORES & SERVICIOS GENERALES SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD LIMITADA - JAM CONSULTORES SCRL.
6.- PRODUCTO	: Agua Natural

II.- DATOS DEL SERVICIO

1.- ORDEN DE SERVICIO N°	: 000000147-2026-0000
2.- FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2026-03-25

III.- DATOS DEL ÍTEMS DE ENSAYO

1.- MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
2- NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.- FECHA DE RECEPCIÓN	: 2026-02-16
4.- CONDICIÓN DE RECEPCIÓN	: Conservacion de la cadena de frío (<= 6°C) / Preservada.
5.- PERÍODO DE ENSAYO	: 2026 02-20 al 2026-03-20

Mgtr. Ing. Lic. Fredy A. Taipe Castro
Director de Investigación y Desarrollo
CIP N° 150812

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory Los resultados de los ensayos 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.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

9 SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877
Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: [illegible]

9 SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt 3
Bellavista, Callao
Cel.: 977 516 675 / 932 646 460

9 SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

9 SEDE PIURA
Urb. San Isidro - Etapa
Mz. D3 Lt. 02
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

9 SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-693

N° Id.: 0000199785

IV.- MÉTODOS DE ENSAYO

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Oxigeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O G. 24th Ed. 2023.	Oxygen (Dissolved). Membrane Electrode Method.
pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. 2023.	pH Value Electrometric Method

"SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater
"APHA" : American Public Health Association

9 SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877
Bellavista, Callao
Telf.: (+511) 713 0756 / 713 0636
Cel.: 977 518 675 / 937 111 379

9 SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz D2 Lt 3
Bellavista, Callao
Cel.: 977 518 675 / 932 646 460

9 SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz. E Lt. 9
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

9 SEDE PIURA
Urb. San Isidro - Etapa
Mz. D3 Lt. 02
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

9 SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

INFORME DE ENSAYO N°: IE-26-693

Nº Id.: 0000199785

V.- RESULTADOS

ITEM	1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-25-128825	M-25-128826
CÓDIGO CLIENTE (A)	AGU-01	AGU-02
COORDENADAS - UTM WGS 84 (A)	E:0514861 N:8791837	E:0514859 N:8791837
PRODUCTO (A)	Agua Natural	Agua Natural
SUB PRODUCTO (A)	Agua Superficial	Agua Superficial
FECHA y HORA DE MUESTREO (A)	15-02-2026 08:15	15-02-2026 08:45

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Oxígeno Disuelto (**)	mg DO/L	NA	0,10	4,02	4,11
pH (**)	Unidad de pH	NA	0,01	8,06	7,50

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

(A)Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

VI.- OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1677
Bellavista, Callao
Telf.: (511) 713 0796 / 713 0636

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3
Bellavista, Callao
Cel.: 977 518 675 / 932 646 460

SEDE AREQUIPA
COCP SIDSUR Mz. E Lt. 9
Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642

SEDE PIURA
Urb. San Isidro - Etapa I
Mz. D3 Lt. 02
Castilla - Piura
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

SEDE TRUJILLO
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Lt. 29
Alto Salaverry - Trujillo
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 919 475 133

www.alab.com.pe