Religación Press

Sara Karina Soto Moran
Martin Roberto Zeta Flores
Jesús Manuel Charcape Ravelo
Antia Rangel Vega
Juan Manuel Tume Ruiz

De la contaminación a la purificación

El poder de *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas

Sara Karina Soto Moran | Martin Roberto Zeta Flores | Jesús Manuel Charcape Ravelo | Antia Rangel Vega | Juan Manuel Tume Ruiz

De la contaminación a la purificación

El poder de Pistia stratiotes en el tratamiento de aguas

Quito, Ecuador
2025

Sara Karina Soto Moran | Martin Roberto Zeta Flores | Jesús Manuel Charcape Ravelo | Antia Rangel Vega | Juan Manuel Tume Ruiz

From contamination to purification

The power of Pistia stratiotes in water treatment

Quito, Ecuador
2025

Religación **P**ress
[Ideas desde el Sur Global]

Equipo Editorial / Editorial team

Ana B. Benalcázar
Editora Jefe / Editor in Chief
Felipe Carrión
Director de Comunicación / Scientific Communication Director
Melissa Díaz
Coordinadora Editorial / Editorial Coordinator
Sarahi Licango Rojas
Asistente Editorial / Editorial Assistant

Consejo Editorial / Editorial Board
Jean-Arsène Yao
Dilrabo Keldiyorovna Bakhronova
Fabiana Parra
Mateus Gamba Torres
Siti Mistima Maat
Nikoleta Zampaki
Silvina Sosa

Religación Press, es parte del fondo editorial del Centro de Investigaciones CICSHAL-RELIGACIÓN | Religación Press, is part of the editorial collection of the CICSHAL-RELIGACIÓN Research Center | Diseño, diagramación y portada | Design, layout and cover: Religación Press.
CP 170515, Quito, Ecuador. América del Sur.
Correo electrónico | E-mail: press@religacion.com
www.religacion.com

Disponible para su descarga gratuita en | Available for free download at | https://press.religacion.com

Este título se publica bajo una licencia de Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)
This title is published under an Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license.

CITAR COMO [APA 7]

Soto Moran, S. K., Zeta Flores, M. R., Charcape Ravelo, J. M., Rangel Vega, A, y Tume Ruiz, J. M.. (2025). *De la contaminación a la purificación. El poder de Pistia stratiotes en el tratamiento de aguas*. Religación Press. https://doi.org/10.46652/ReligacionPress.298

Derechos de autor | Copyright: Religación Press, Sara Karina Soto Moran, Martin Roberto Zeta Flores, Jesús Manuel Charcape Ravelo, Antia Rangel Vega, Juan Manuel Tume Ruiz
Primera Edición | First Edition: 2025
Editorial | Publisher: Religación Press
Materia Dewey | Dewey Subject: 620.8 - Factores humanos e Ingeniería de seguridad Ingeniería ambiental
Clasificación Thema | Thema Subject Categories: RNKH - Conservación de la vida silvestre y del hábitat
BISAC: SCI026000
Público objetivo | Target audience: Profesional / Académico | Professional / Academic
Colección | Collection: Medio ambiente
Soporte| Format: PDF / Digital
Publicación | Publication date: 2025-07-21
ISBN: 978-9942-561-46-6
Título: De la contaminación a la purificación. El poder de *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas
From contamination to purification. The power of *Pistia stratiotes* in water treatment.
Da poluição à purificação. O poder da *Pistia stratiotes* no tratamento da água.

Nota obra derivada: El libro retoma y amplía, mediante el trabajo colaborativo de un grupo de investigadores, los hallazgos y aportes presentados en la tesis original, enriqueciendo su contenido con nuevos enfoques, análisis y perspectivas que profundizan en los temas abordados "Eficiencia de Pistia stratiotes L. "lechuguilla de agua" en aguas residuales domésticas en el cercado del distrito de Bellavista - Sullana - Perú." presentada ante la Universidad Nacional de Piura por Sara Karina Soto Moran, Martin Roberto Zeta Flores, Jesús Manuel Charcape Ravelo, Antia Rangel Vega, Juan Manuel Tume Ruiz en 2024.
Note: The book takes up and expands, through the collaborative work of a group of researchers, the findings and contributions presented in the original thesis, enriching its content with new approaches, analysis and perspectives that deepen the issues addressed "Efficiency of Pistia stratiotes L. "water lechuguilla" in domestic wastewater in the enclosure of the district of Bellavista - Sullana - Peru." presented to the National University of Piura by Sara Karina Soto Moran, Martin Roberto Zeta Flores, Jesus Manuel Charcape Ravelo, Antia Rangel Vega, Juan Manuel Tume Ruiz in 2024.

Revisión por pares

La presente obra fue sometida a un proceso de evaluación mediante el sistema de dictaminación por pares externos bajo la modalidad doble ciego. En virtud de este procedimiento, la investigación que se desarrolla en este libro ha sido avalada por expertos en la materia, quienes realizaron una valoración objetiva basada en criterios científicos, asegurando con ello la rigurosidad académica y la consistencia metodológica del estudio.

Peer Review

This work was subjected to an evaluation process by means of a double-blind peer review system. By virtue of this procedure, the research developed in this book has been endorsed by experts in the field, who made an objective evaluation based on scientific criteria, thus ensuring the academic rigor and methodological consistency of the study.

Sobre los autores/ About the authors

Sara Karina Soto Moran
Universidad Nacional de Piura | Piura | Perú
https://orcid.org/0009-0009-9810-5508
sarasotom.29@gmail.com
sotosarita.28@gmail.com
Egresada en la Universidad Nacional de Piura con Título de Ingeniera Ambiental y Seguridad Industrial, posteriormente llevando cursos de especialización en la Universidad mencionada.

Martín Roberto Zeta Flores
Universidad Nacional de Piura | Piura | Perú
https://orcid.org/0000-0002-9876-9840
mzetaf@unp.edu.pe
zjosueal07@gmail.com
Ingeniero de Minas colegiado, docente universitario en Pre y Post grado en la Universidad Nacional de Piura, con grado de Maestría en Ciencias Ambientales, con experiencia en Operaciones mineras de superficie y subterránea, especialista en seguridad industrial y Control ambiental, desempeñando cargos de Gerente de Servicios, Jefe de Proyecto, Jefatura en el área de Seguridad en Perforaciones diamantinas y geotecnia, Coordinador de la Seccional Piura del Instituto de Ingenieros de minas del Perú a la fecha, Director del Centro Productivo de la Escuela de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Piura. Investigador RENACYT nivel VII. Consultor ambiental registrado en el Ministerio de Energía y Minas.

Jesús Manuel Charcape Ravelo
Universidad Nacional de Piura | Piura | Perú
https://orcid.org/0000- 0002-9595-1663
jacharcaper@unp.edu.pe
manuelchr@gmail.com
Doctor en Ciencias Ambientales Universidad Nacional de Trujillo (UNT). Director de la Unidad de investigación de la Facultad de Ciencias U.N.P. Catedrático e Investigador de Pre y Postgrado Universidad Nacional de Piura Perú. Coordinador de la Maestría en Ciencias del Mar U.N.P. Experto Científico CITES Flora del Ministerio del Ambiente Perú. Cursos de Doctorado en Manejo y Conservación de los Recursos Naturales, Mención en Aplicación a la Gestión Ambiental. Universidad de Salamanca España. Master en Ciencias con Mención en Administración de Flora y Fauna Silvestre UNT. Título profesional de Biólogo - Universidad Nacional de Trujillo. Título profesional de Segunda Especialidad en Gestión de la Biodiversidad UNT. Profesor Visitante de la Universidad Nacional de Ancash Santiago Antunez de Mayolo. Profesor Visitante de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza Chachapoyas.

Antia Rangel Vega
Universidad Nacional de Piura | Piura | Perú
https://orcid.org/0000-0001-8793-847X
arangelv@unp.edu.pe
Ingeniera Pesquera colegiada, docente universitaria en pre y post grado desde 2000 hasta la fecha en Universidades Públicas y Privadas, experiencia laboral en Plantas pesqueras en control de calidad y producción, actualmente Docente de la Facultad de Ingeniería Pesquera, Docente en la Maestría de Ingeniería Ambiental y seguridad Industrial de la Universidad Nacional de Piura. Grado de Maestría en Docencia Universitaria, Licenciada en Biología y química. Doctora en Ciencias ambientales, y Título Profesional en Segunda especialidad en docencia del inglés como lengua extranjera; Investigadora RENACYT nivel V CONCYTEC PERÚ asesor y consultor en temas ambientales y tecnología e inocuidad alimentaria.

Juan Manuel Tume Ruiz
Universidad Nacional de Piura | Piura | Perú
https://orcid.org/0000-0002-6172-6951
jtumer@unp.edu.pe
Ingeniero Pesquero colegiado, Docente Universitario desde el año 1998 hasta la fecha, he desempeñado labores en el área de la ingeniería ambiental en las principales universidades públicas y privadas en la Región, actualmente docente Principal adscrito a la Facultad de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional de Piura. Licenciado en biología y química. Magister en Ciencias del mar y Doctor en ciencias ambientales. Investigador RENACYT nivel V CONCYTEC PERÚ, asesor y consultor en temas ambientales y pesqueros.

Resumen

Este libro explora el potencial de *Pistia stratiotes* (lechuga de agua) como solución natural para tratar aguas residuales domésticas en zonas con limitado acceso a tecnologías costosas. Mediante humedales artificiales en Bellavista-Sullana, se evaluó su eficacia en remover contaminantes como grasas, materia orgánica y patógenos, comparando sistemas con distintas densidades de plantas. Los resultados demostraron una mejora significativa en la calidad del agua, cumpliendo con estándares ambientales. Además, la planta absorbió metales pesados como plomo, destacando su doble función: purificación y fitorremediación. Con alta eficacia en reducir coliformes y otros parámetros críticos, Pistia stratiotes se posiciona como una alternativa ecológica, económica y escalable para comunidades vulnerables. El libro invita a revalorizar las soluciones basadas en la naturaleza, proponiendo un modelo sostenible para la gestión del agua que combina ciencia, accesibilidad y conservación ambiental.
Palabras claves:
Pistia stratiotes; aguas residuales; tratamiento; reducción; eficiencia.

Abstract

This book explores the potential of *Pistia stratiotes* (water lettuce) as a natural solution to treat domestic wastewater in areas with limited access to expensive technologies. Using artificial wetlands in Bellavista-Sullana, its effectiveness in removing pollutants such as grease, organic matter and pathogens was evaluated by comparing systems with different plant densities. The results showed a significant improvement in water quality, complying with environmental standards. In addition, the plant absorbed heavy metals such as lead, highlighting its dual function: purification and phytoremediation. With high efficacy in reducing coliforms and other critical parameters, Pistia stratiotes is positioned as an ecological, economical and scalable alternative for vulnerable communities. The book invites to revalue nature-based solutions, proposing a sustainable model for water management that combines science, accessibility and environmental conservation.
Keywords:
Pistia stratiotes; wastewater; treatment; reduction; efficiency.

Resumo

Este livro explora o potencial da *Pistia stratiotes* (alface d'água) como uma solução natural para o tratamento de águas residuais domésticas em áreas com acesso limitado a tecnologias caras. Usando áreas úmidas artificiais em Bellavista-Sullana, sua eficácia na remoção de poluentes como gordura, matéria orgânica e patógenos foi avaliada pela comparação de sistemas com diferentes densidades de plantas. Os resultados mostraram uma melhora significativa na qualidade da água, em conformidade com os padrões ambientais. Além disso, a planta absorveu metais pesados, como o chumbo, destacando sua função dupla: purificação e fitorremediação. Com alta eficácia na redução de coliformes e outros parâmetros críticos, a Pistia stratiotes está posicionada como uma alternativa ecológica, econômica e escalonável para comunidades vulneráveis. O livro convida a revalorizar as soluções baseadas na natureza, propondo um modelo sustentável para a gestão da água que combina ciência, acessibilidade e conservação ambiental.
Palavras-chave:
Pistia stratiotes; águas residuais; tratamento; redução; eficiência.

Contenido

Revisión por pares 6
Peer Review 6
Sobre los autores/ About the authors 8
Resumen 10
Abstract 10
Resumo 11

Agradecimiento/Dedicatoria 16
Prólogo 17

Capítulo 1 19
Pistia stratiotes y contaminantes presentes en las aguas residuales 19
Introducción 20
Aspectos de la problemática 21
Descripción de la realidad problemática: 21
Formulación del problema de investigación 22
Problema general 22
Problemas específicos 22
Justificación e importancia de la investigación 22
Objetivos 23
Objetivo general 23
Objetivos específicos 23
Delimitación de la investigación: 24

Capítulo 2 26
Factores que influyen en la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domésticas 26
Antecedentes de la investigación 27
Calidad de Agua 29
Agua residual doméstica 29
Tratamiento de Aguas Residuales: 30
Tratamiento de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas o Fitorremediación: 30
Tratamiento de aguas residuales en el Perú: 30
Fitorremediación: 31
Tipos de fitorremediación: 31
Ventajas y desventajas de la fitorremediación: 32

Ventajas 32
Plantas macrófitas 33
Propiedades de las macrófitas 33
Pistia stratiotes "lechuga de agua" 34
Acción depuradora 35
Indicadores de calidad del agua 35
Parámetros físicos. 36
Parámetros químicos 36
Parámetros Microbiológicos: 38
Glosario de términos básicos 38
Marco referencial 39
Ley N° 28611.- Ley general del ambiente 41
LEY N° 29338.- Ley de recursos hídricos 42
Texto único ordenado del reglamento de la ley general de servicios de saneamiento-LEY N° 26338, aprobado por decreto supremo N° 023-2005-vivienda 43
Ley N° 27972-Ley orgánica de municipalidades 46
Reglamento de organización y funciones del ministerio de salud-anexo, aprobado por decreto supremo N° 023-2005-SA 47
Hipótesis 47
Hipótesis general 47
Hipótesis específicas 48
Marco metodológico 48

Capítulo 3 50
Métodos y procedimientos: una explicación técnico-científica 50
Técnicas e instrumentos 54
Aspectos éticos 54

Capítulo 4 56
Pistia stratiotes en el contexto específico del cercado del distrito de Bellavista 56
Discusión: 66
Conclusiones 68
Recomendaciones 69

Referencias 70

Tablas

Tabla 1. Taxonomía de la Pistia stratiotes (lechuga de agua) 35
Tabla 2. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR 41
Tabla 3. Análisis de agua residual doméstica antes del tratamiento (A.T) 57
Tabla 4. Resultados después de 7 días de tratamiento. 57
Tabla 5. Resultados después de 15 días de tratamiento 58
Tabla 6. Variación de Aceites y grasas 58
Tabla 7. Variación de DBO5 59
Tabla 8. Variación de DQO 60
Tabla 9. Variación de pH 61
Tabla 10. Variación de SST 62
Tabla 11. Variación de Coliformes Fecales 63
Tabla 12. Variación de T°C 64
Tabla 13. Resultados de Análisis de la planta Pistia Stratiotes con Plomo 65

Figuras

Figura 1. Distrito de Bellavista 24

Figura 2. Morfología de Lechuga de Agua. 34

Figura 3. Humedal con 10 plantas 52

Figura 4. Humedal con 20 plantas 52

Figura 5. Humedal sin plantas 53

Figura 6. Diagrama de barras de la variación de Aceites y grasas con Pistia Stratiotes en función del tiempo 59

Figura 7. Diagrama de barras de variación de DBO5 con Pistia Stratiotes en función del tiempo 60

Figura 9. Diagrama de barras de variación de DQO con Pistia Stratiotes en función del tiempo 61

Figura 10. Diagrama de variación de PH con Pistia Stratiotes en función del tiempo 62

Figura 11. Diagrama de variación de Sólidos totales suspendidos con Pistia Stratiotes en función del tiempo 63

Figura 12. Diagrama de Coliformes Fecales con Pistia Stratiotes en función del tiempo 64

Figura 13. Diagrama de variación de temperatura con Pistia Stratiotes en función del tiempo 65

Agradecimiento/Dedicatoria

Expresamos nuestra más profunda gratitud a Dios, por guiarnos y fortalecernos en cada etapa de este proceso como equipo que culmina con la publicación de este libro. Su presencia ha sido fuente de inspiración y perseverancia en todo momento.

A nuestras familias, quienes han sido el sostén incondicional durante este camino académico y personal. A nuestros padres, hermanos y seres queridos, por su amor, paciencia y constante motivación, que nos impulsaron a continuar con compromiso y determinación.

Extendemos un sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Piura, por brindarnos la formación académica y los espacios necesarios para el desarrollo de la investigación. Reconocemos especialmente al Vicerrectorado de Investigación, por su respaldo institucional, así como a los Grupos de Estudio de Investigación, cuyo acompañamiento y apoyo técnico-académico fueron fundamentales para la elaboración de esta obra.

A todas las personas, colegas y profesionales que colaboraron directa o indirectamente en la recolección de datos, análisis y aspectos logísticos, les expresamos nuestro aprecio y reconocimiento.

Este libro es fruto del esfuerzo compartido, del compromiso con la ciencia aplicada y del deseo colectivo de contribuir a la sostenibilidad ambiental desde una perspectiva local con impacto global.

Prólogo

La escasez de agua es una problemática creciente que afecta tanto a poblaciones humanas como a los ecosistemas. Este desafío no solo está relacionado con el incremento de la demanda debido al crecimiento poblacional y económico, sino también con la creciente contaminación de cuerpos de agua como ríos, lagos y mares. Una de las principales causas de esta contaminación es el vertido de aguas residuales sin tratamiento adecuado, proveniente de diversas actividades urbanas, industriales, mineras y agrícolas. Esta situación pone en riesgo la salud pública, la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental.

Frente a este panorama, surge la necesidad de implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales que sean eficientes, sostenibles y accesibles. Una alternativa viable y de bajo costo es la fitorremediación, técnica que utiliza plantas acuáticas para remover contaminantes presentes en el agua. Estas plantas, gracias a sus propiedades naturales, pueden absorber, degradar o transformar sustancias nocivas, mejorando significativamente la calidad del efluente.

El tratamiento de aguas residuales domésticas implica una serie de procesos físicos, químicos y biológicos orientados a la remoción de materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos y metales pesados. Entre las especies vegetales empleadas en la fitorremediación, se destaca *Pistia stratiotes L.*, también conocida como lechuguilla de agua, por su capacidad de adaptación y su eficiencia en la absorción de contaminantes.

En este contexto, la presente investigación tiene como propósito evaluar la eficiencia de *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el cercado del distrito de Bellavista, Sullana. Esta propuesta busca contribuir al desarrollo de alternativas ecológicas y sostenibles para la reducción de contaminantes, promoviendo así la mejora en la gestión del recurso hídrico y el aprovechamiento seguro de los efluentes tratados.

Capítulo 1

Pistia stratiotes y contaminantes presentes en las aguas residuales

Introducción

La disponibilidad del agua es un problema actual y complejo en el que interviene una serie de factores que van más allá del incremento poblacional que demanda cada vez más este recurso para uso del consumo humano, así como para llevar a cabo actividades económicas (Durán y Torres, 2006).

Uno de los mayores problemas que existe en la actualidad es la contaminación de los cuerpos de agua como son los lagos, ríos y mares a causa de la escasez de plantas de tratamiento de aguas residuales en explotaciones mineras, ganaderas, agrícolas, de ciudades e industrias; estas producen en gran cantidad desechos de aguas residuales que contaminan el ambiente afectando la fauna y flora. Es por ello que es necesario realizar tratamiento a las aguas residuales amigables al medio ambiente, uno de estos tratamientos es comprobar la efectividad de plantas microfitas, con la finalidad que se pueda modificar las condiciones microbiológicas, químicas y físicas, para evitar la contaminación (Rodríguez, 2017).

Para poder disminuir el grado de concentración de contaminantes presentes en agua residuales domésticas se le debe hacer un tratamiento, que es un proceso de tratamiento que incorpora transformaciones físicas, químicas y biológicas, con el objeto de tratar y remover los contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua, efluente del uso humano (Arocutipa, 2013).

El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida (Romero et al., 2009).

En el Perú, específicamente Lima se ha realizado algunas investigaciones con macrófitas, principalmente en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde nos han demostrado la eficiencia que pueden tener las plantas acuáticas en los sistemas de tratamiento (Campoverde, 2017). Por lo que en el presente trabajo de investigación se ha considerado el estudio y análisis de la "Eficiencia de *Pistia stratiotes L.* lechuguilla de agua, en aguas residuales domésticas en el cercado del distrito de Bellavista", con la finalidad de contribuir con las alternativas de reducción de contaminantes en este tipo de efluentes, para un posterior uso. Para ello la propuesta de la fitorremediación es uno de los métodos más económicos y sustentables, lo cual se utiliza plantas acuáticas que ayudaría a minimizar la contaminación y reaprovechar su uso.

Aspectos de la problemática

Descripción de la realidad problemática:

> A nivel mundial, el tratamiento de aguas residuales es un desafío crítico que afecta la salud pública, al ambiente y al desarrollo sustentable. Se estima que alrededor del 80% de las aguas residuales generadas en el mundo son vertidas sin tratar en cuerpos de agua, lo que contamina ríos, lagos y océanos. Esta situación contribuye a la propagación de enfermedades, la pérdida de biodiversidad y el deterioro de los ecosistemas acuáticos. Además, el manejo inadecuado de estas aguas impacta la disponibilidad de agua limpia, esencial para el consumo humano y la agricultura (Li et al., 2022).

En Perú, la problemática de las aguas residuales es igualmente preocupante. Aunque el país ha avanzado en el desarrollo de infraestructura para el tratamiento de aguas, se estima que solo un 20% de las aguas residuales generadas en áreas urbanas son tratadas adecuadamente. Esto se traduce en una contaminación significativa de ríos y lagunas, que son vitales para la población y el ecosistema. Las deficiencias en el tratamiento de aguas residuales contribuyen a enfermedades transmitidas por el agua, como el cólera y la diarrea, afectando especialmente a comunidades vulnerables (Larios et al., 2015).

La segregación de aguas residuales domésticas en el Distrito de Bellavista provoca un problema ambiental crítico, que ésta afecta directamente al río Chira y pon ende a la misma población de Bellavista del área agrícola colindante al río.

También podemos mencionar que debido a la falta de mantenimiento por la empresa EPS Grau, al sistema de alcantarillado, colapsa provocando fugas y malos olores a la población. Los lugares afectados por las aguas residuales en la ciudad son: Alrededores de la intersección de las avenidas Buenos Aires, las urbanizaciones Sullana, Salaverry, Sánchez Cerro, 4 de noviembre, Santa Teresita, 9 de octubre, el Centro de Sullana y también la mayor parte del distrito de Bellavista.

Lo más preocupante es tratar el agua residual doméstica antes de verterlo al río; ya que pone en peligro la salud de los pobladores de la zona y los consumidores de los productores agrícolas. Influye además que la ciudad sufre un problema de desabastecimiento de agua lo que origina mayor concentración de DBO en las aguas residuales del área del proyecto. Debido a este problema que afecta al distrito, sería conveniente aprovechar estas aguas residuales, para un uso de riego para las áreas verdes del distrito.

Los pobladores también tienen el deber de contribuir con el cuidado del agua y el ambiente, para obtener un ambiente agradable y saludable, por eso es muy importante conocer algún tratamiento de aguas residuales. En la actualidad existen muchos tratamientos de agua, que ayudan a mejorar la calidad del agua. Por tal motivo para mejorar la calidad de agua es tratarla utilizando la eficiencia de *pistia stratoides L.* "lechuguilla de agua", para reducir la carga contaminante de las aguas.

Formulación del problema de investigación

Problema general

¿Cuál es la capacidad y efectividad de la planta *Pistia stratiotes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el cercado del distrito de Bellavista – Sullana?

Problemas específicos

¿La planta *Pistia stratiotes* puede eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas del cercado del distrito de Bellavista–Sullana, incluyendo compuestos orgánicos y metales pesados?

¿Cómo influyen factores como la temperatura y la calidad del agua en la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la planta *Pistia stratiotes* en el contexto específico del cercado del distrito de Bellavista?

Justificación e importancia de la investigación

Sullana enfrenta desafíos significativos en la gestión de aguas residuales. La limitada infraestructura de tratamiento y el vertido de aguas contaminadas afectan la salud pública, la biodiversidad y los recursos hídricos locales. Esta investigación evalúa el potencial de *Pistia stratiotes* para mejorar la calidad del agua. Los humedales artificiales y las plantas acuáticas ofrecen una alternativa sostenible y de bajo costo frente a métodos tradicionales, promoviendo prácticas ecológicas en comunidades con recursos limitados.

La contaminación del agua es una de las principales causas de enfermedades en comunidades vulnerables. Al investigar la eficacia de *Pistia stratiotes*, se espera proporcionar una solución que mejore la calidad del agua y reduzca los riesgos para la salud pública. Este estudio enriquecerá el conocimiento sobre el uso de plantas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales en Perú, aportando datos valiosos sobre su capacidad para eliminar contaminantes.

Los resultados pueden servir de base para políticas públicas más efectivas en la gestión de aguas residuales en Sullana y Perú. Promover soluciones basadas en la naturaleza puede influir en decisiones gubernamentales y en la inversión en infraestructura compatible con el ambiente.

Finalmente, esta investigación tiene el potencial de sensibilizar a la comunidad sobre la importancia del tratamiento adecuado de aguas residuales y el uso de soluciones ambientales. Aumentar la conciencia sobre la relación entre el ambiente y la salud puede fomentar un cambio de comportamiento hacia prácticas más sostenibles en el manejo del agua. Por todo ello, la investigación sobre la eficiencia de *Pistia stratiotes* en el tratamiento de aguas residuales en Bellavista es, por tanto, no solo un estudio científico, sino también un paso hacia un desarrollo más sostenible y saludable para la comunidad. Su relevancia se extiende más allá de la investigación misma, impactando la salud, el ambiente y la calidad de vida de los habitantes de la región.

Objetivos

Objetivo general

Demostrar la capacidad y efectividad de la planta *Pistia stratiotes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el cercado del distrito de Bellavista – Sullana.

Objetivos específicos

Demostrar y comparar que la planta *Pistia stratiotes* puede eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas del cercado del distrito de Bellavista–Sullana, incluyendo compuestos orgánicos y metales pesados.

Analizar los factores como la temperatura y la calidad del agua en la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la planta *Pistia stratiotes* en el contexto específico del cercado del distrito de Bellavista.

Delimitación de la investigación:

Este proyecto se desarrolló en el cercado del distrito de Bellavista, Provincia de Sullana, departamento de Piura, el tiempo de duración fue de 6 meses.

El distrito de Bellavista limita por el Norte con la Quebrada y Boquerón de Núñez; por el este con las parcelas y el dren de Cieneguillo; por el sur con el Asentamiento Humano Santa Teresita y Barrio Buenos Aires y; por el oeste con el Canal Vía y ex carretera a la Tina.

Tomando muestras comunes siguiendo canales secundarios y primarios de alcantarillado; finalmente se obtendrá la cantidad 35 litros.

Figura 1. Distrito de Bellavista

Fuente: Google Earth (2024).

Capítulo 2

Factores que influyen en la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domésticas

Antecedentes de la investigación

En Mendoza et al. (2019), nos indica que en su tesis de *Pontederia crassipes* como tratamiento biológico de aguas residuales: fitorremediación con plantas acuáticas como alternativa de tratamiento para aguas domésticas. Que en la ciudad de Riohacha (La Guajira) las aguas residuales no reciben tratamiento y son arrojadas al mar por medio de un emisario final, debido a las deficiencias en la infraestructura sanitaria y el mal estado de tuberías, lo que genera problemas políticos, sociales, económicos y ambientales. Como alternativa de solución la presente investigación diseñó un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio, para evaluar la capacidad de *Pontederia crassipes* ("jacinto de agua") para reducir la carga orgánica y los indicadores de contaminación fecal. Para ello se diseñaron 9 estanques que operaron a flujo semicontínuo y con un Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) de 7 días: en tres de ellos se trataron las aguas residuales con *Pontederia crassipes* con cobertura de 100%; en otros tres las plantas sólo cubrieron el 50% de la superficie de los contenedores y los restantes se mantuvieron sin plantas acuáticas para ser usados como control. El monitoreo duró ocho meses durante este periodo se aplicaron tasas de renovación de efluentes de 25, 50 y 75%, y, los siguientes parámetros se evaluaron de acuerdo con los métodos estándares: temperatura, pH, alcalinidad total, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, salinidad, cloruro, nitrato, nitrito, amonio, ortofosfato, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV), sólidos suspendidos fijos (SSF), y coliformes totales y fecales. Los resultados mostraron que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente tratado en su mayoría se mantuvieron por debajo de los valores máximos establecidos en el Decreto 1594 de 1984. Además, la mejor eficiencia del sistema se presentó al aplicar la tasa de renovación de 25% en los estanques cubiertos 100% con las plantas: registrándose altos porcentajes de remoción de hasta 99,9% para nitrato, nitrito y amonio; de 79,6% para ortofosfato; 91,1% de DQO; 89,8% de DBO5; 95,9% de SST; 79,7% de SSV; 95,4% de SSF; y 99,9% de Coliformes. Por todo lo anterior, la fitorremediación es una alternativa eficiente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la población de Riohacha.

Asimismo, Delgado (2021), en su trabajo de "Evaluación del aporte de las plantas acuáticas *Pistia Stratiotes* y *Pontederia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Reque provincia de Chiclayo," nos indica que se evalúa el aporte de las plantas lechuga de agua y "jacinto de agua" en el tratamiento de aguas residuales en el tratamiento de las aguas residuales

municipales del distrito de Reque, provincia de Chiclayo. Esta investigación nace como alternativa al deficiente tratamiento de las aguas residuales tanto a nivel nacional y local, además de tener un fin netamente investigativo, por lo cual se comparó el aporte de las plantas *Pistia stratiotes* y *Pontederia crassipes* en 3 muestras: una de control, una con "jacinto de agua", una con lechuga de agua, en modelos a escala, antes de este proceso se realizará un pretratamiento y un tratamiento primario que consiste en un tanque séptico a escala. Los resultados obtenidos indican que las plantas acuáticas *Pistia stratiotes* y *Pontederia crassipes* si remueven los parámetros evaluados y cumplen con los LMP Límites máximos permisibles), en algunos parámetros no existe diferencia significativa con el tratamiento de control sin plantas, pero sí lo suficiente como para cumplir las normativas; se evaluó remoción de: coliformes termotolerantes, pH, DBO, DQO, SST, aceites y grasas y temperatura. El tiempo óptimo de remoción de *Pistia stratiotes* fue de 7 días y de *Pontederia crassipes* a los 14 días.

Por lo tanto, en Garcia & Parejas (2021), en su trabajo llamado Eficiencia de las macrófitas flotantes, *Pistia stratiotes* y *Pontederia crassipes*, en las propiedades físico-químicas y microbiológicas de la PTAR del distrito de Huachac, Chupaca, 2021, nos indica cuyo objetivo fue determinar la Eficiencia de las macrófitas "jacinto de agua" (*Pontederia crassipes*) y repollo de agua (*Pistia stratiotes*) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila. – en el distrito de Morales–San Martín. Para la cual se utilizó un diseño experimental, tipo factorial 2x3 con dos factores, el factor físico químico y microbiológico y el factor macrófitas con 2 especies diferentes y se evaluaron con 3 repeticiones. Siendo las variables dependientes las Coliformes fecales, DBO, DQO, fosforo, Nitrógeno, color, pH y turbidez. Para comparar la calidad del agua se utilizó el D.S. 004-2017 y los estándares indicados por la OCDE. Asimismo, los tratamientos empleados en las aguas de la laguna Ricuricocha, como son el "jacinto de agua" y repollo de agua disminuyeron las concentraciones de Coliformes fecales hasta un 100% y cumplieron con los parámetros establecidos por estándares especificados en el D.S. 004-2017. La eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos por tratamiento T1: "jacinto de agua" y T2: Repollo de agua fueron; Nitrógeno 12.3% y 5.5%, Fosforo 9.1% y 3.6%, pH 26.8% ambos, color 41.2% y 3.9%, turbidez 20.8% y 12.8%, el DBO fue 11.2% y 403.5% (sobre el nivel inicial), el DQO, fue del 17.6%, y 222% (sobre el nivel inicial). De acuerdo a los resultados obtenidos se puede evidenciar que existe una mayor eficiencia de remoción por parte del "jacinto de agua" en comparación al repollo de agua, en los parámetros de coliformes fecales, DBO, DQO, color, fosforo, nitrógeno y turbidez. Siendo el parámetro del pH el único en la cual presentan igual eficiencia de remoción para las aguas de la laguna Ricuricocha.

Bases teóricas

Recurso Hídrico

Según Tortajada (2002), el ambiente es el sustrato que permite la supervivencia del ser humano dándole recursos esenciales para sus actividades productivas y económicas. El recurso hídrico es la suma total del entorno constituido por la atmósfera, la hidrosfera, la litósfera y la biósfera. Las interacciones entre los distintos componentes a través de diferentes procesos físicos, químicos y biológicos hacen que las especies químicas se muevan en el medio ambiente y este transporte se describe como un ciclo biogeoquímico.

El agua es un recurso natural, que se precipita desde la atmósfera en los días de lluvia. El agua corre por los ríos, es la que llega diario a nuestras casas. Esta misma la compramos en botellas para beber y saciar la sed.

Calidad de Agua

El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si es agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación, de contacto primario, para mantener la calidad ambiental, etc. (OMS, 1995).

Agua residual doméstica

Las aguas residuales domésticas son producto de la utilización del líquido en las diferentes actividades de un hogar, las cuales producen un nivel de contaminación al agua que puede manifestar la presencia de sólidos, desechos orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo que precisa de un proceso para su eliminación. Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción (Metcalf y Eddy, 1995).

Tratamiento de Aguas Residuales:

El tratamiento de aguas residuales es la:

> conversión del agua residual proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable a las condiciones del ambiente (estético, organoléptico y de salud pública) y la disposición adecuada de los sólidos (lodos) obtenidos durante el proceso de purificación. (Rojas, 2002)

Tratamiento de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas o Fitorremediación:

El Tratamiento de aguas residuales por medios de plantas acuáticas o macrófitas en los últimos años ha producido un gran interés, por su potencial en la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas lograron un tratamiento integral en donde no sólo removieron material orgánico y sólidos suspendidos, sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (García, 2012).

Otra investigación reportó una disminución en la demanda bioquímica de oxígeno de 247 a 149 mg/l y una reducción en los sólidos suspendidos totales de 214 a 58 mg/l en una granja porcina en el Valle del Cauca utilizando este sistema de tratamiento (García, 2012).

Tratamiento de aguas residuales en el Perú:

En el Perú de las 143 plantas de tratamiento de aguas residuales son gestionadas por Empresas Prestadoras de Servicios (EPS), solo el 14,7% tienen autorización sanitaria para su funcionamiento, lo que demuestra la informalidad. Según el estudio realizado en el 2007 por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), los sistemas de alcantarillado recolectaron aproximadamente 747,3 millones de m3, el 70,9% pasan a contaminar los cuerpos de agua superficial que se usan para la agricultura, pesca, recreación e incluso para abastecimiento de agua potable y solo el 29,1% ingresaron a un sistema de tratamiento de agua; esta última cifra tampoco garantizaba un tratamiento adecuado (Moret, 2014).

La mayoría de las plantas en el Perú, no cuentan con información básica y necesaria como la temperatura, caudal, calidad del afluente o efluente, para un

adecuado control en casos adversos. A noviembre del 2008, sólo el 26,6% de las PTAR mide el caudal afluente, solamente se tiene el 70,6% de las PTAR tienen datos del nivel de DBO5 y 69,2% de ellas sólo disponían de datos del nivel de coliformes fecales (Méndez & Marchan, 2008).

Fitorremediación:

Según Flathman (como se citó en Ballesteros, 2011), define a la fitorremediación como un método sustentable basado en el uso de plantas para disminuir en el mismo lugar la peligrosidad o agrupación de los contaminantes que pueden estar en el aire, suelo y agua; esto se desarrolla a través de métodos bioquímicos ejecutados por los microorganismos y las raíces de las plantas, estas conducen a la volatilización, mineralización, reducción, estabilización y degradación de los distintos contaminantes.

El término de fitorremediación tuvo una mayor difusión en el año 1991. Está compuesto por dos palabras: fito, que en griego significa vegetal o planta y remediar (del latín remediare), que tiene como significado corregir o enmendar algún daño. Se utilizan tecnologías que se fundamentan en vegetales o plantas para restaurar o limpiar ambientes contaminados (Núñez et al., 2004).

Tipos de fitorremediación:

Andrade (2015), Menciona que "las plantas son capaces de acumular contaminantes encontrándose disueltos en el agua, siendo estos degradados y absorbidos".

- **Fitoextracción:** es la capacidad que tienen algunas plantas para acumular los contaminantes en los follajes, tallos y raíces. Los contaminantes que se extraen son elementos e isótopos radioactivos, también contaminantes orgánicos y especialmente metales pesados.
- **Fitodegradación o fitotransformación:** las plantas terrestres y acuáticas absorben, almacenan y degradan los componentes orgánicos para generar subproductos que no sean tóxicos o menos tóxicos. Esto se da mediante reacciones enzimáticas que realizan las plantas y microorganismos en la rizósfera, dicho de otra forma, la región que realiza una interacción dinámica y única entre los microorganismos del suelo y las raíces, encontrándose estrechamente asociadas, aquellos

contaminantes son parcialmente o completamente transformados o degradados.

- **Rizofiltración:** en este tipo de fitorremediación se utilizan las raíces de las plantas para concentrar, precipitar y absorber metales pesados además de degradar compuestos orgánicos en efluentes líquidos que se encuentren contaminados.
- **Fitoestimulación:** los exudados de las raíces que contienen las plantas incitan el crecimiento de los microorganismos teniendo la capacidad de degradar contaminantes orgánicos. Las plantas como parte de las actividades fisiológicas y metabólicas que realizan liberan azúcares simples, aminoácidos, nutrientes, enzimas y oxígeno; siendo transportados desde las partes superiores hasta las raíces. Este procedimiento favorece al desarrollo de comunidades microbianas, aquellas actividades metabólicas causan mineralización de los contaminantes.
- **Fitovolatilización:** las plantas modifican y capturan metales pesados como mercurio y selenio, aquellos se los puede encontrar en aguas residuales, suelos y sedimentos; siendo absorbidos, metabolizados y transportados desde las raíces a las partes superiores y liberándose a la atmósfera en formas menos tóxicas y volátiles durante la transpiración.
- **Fitoestabilización:** utiliza a las plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, mediante mecanismos de captación que disminuyen contaminantes que perjudican al ambiente y la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes del ambiente. Las plantas realizan un control hidráulico en la zona contaminada. En las raíces de las plantas se fijan fuertemente los metales restringiendo así su migración y la biodisponibilidad vertical hacia las napas freáticas (Núñez et al., 2004).

Ventajas y desventajas de la fitorremediación:

Ventajas

- Es una tecnología sustentable.
- Es eficiente para tratar diversos tipos de contaminantes in situ.
- Es aplicable a ambientes con concentraciones de bajas a moderadas.

- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía.
- No produce contaminantes secundarios y por lo mismo no hay necesidad de lugares para desecho.
- Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.
- Evita la excavación y el tráfico pesado.
- Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos.
- Se pueden reciclar recursos (agua, biomasa, y metales)

Plantas macrófitas

Las plantas macrófitas o también llamadas acuáticas son utilizadas para la asimilación y descomposición de materia inorgánica, orgánica y nutrientes. Estas plantas tienen muchas ventajas al ser utilizadas, dependiente de la clase de efluente que se va a tratar y las condiciones del procedimiento. En conclusión, la forma de utilización radica en establecer humedales con especies raizadas, sumergidas y flotantes (Celis et al., 2005).

Se tiene un variado y diverso grupos de plantas acuáticas entre las más destacadas están la lechuga de agua *(Pistia stratiotes)*, la redondita de agua *(Hydrocotyle ranunculoites)*, la salvinia *(Salvina Spp.)*, el "jacinto de agua" (*Pontederia crassipes*) y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna Minor Spp., Spirodella Spp.)* (Martelo y Lara, 2012).

Propiedades de las macrófitas

Las macrófitas (García, 2012), tienen funciones importantes las cuales son**:**

- Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.
- Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.

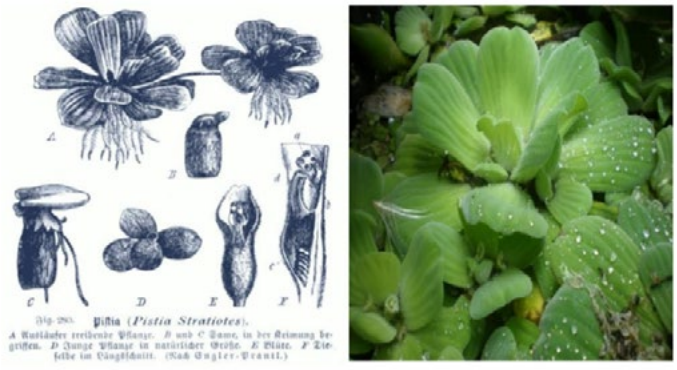
- Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

Pistia stratiotes "lechuga de agua"

Comúnmente conocida como "repollito de agua" o "lechuga de agua", se caracteriza por su inconfundible y extraño aspecto, ya que, está compuesta por rosetas de unos 30 cm, hojas gruesas y anchas de color verde fosforescente, que flotan de manera libre en la superficie; mientras que las raíces se encuentran sumergidas en el agua, produciendo flores y frutos, donde habitualmente se multiplican de manera intensa, llenando por completo e invadiendo el humedal; ya sea por las condiciones del sistema y su capacidad de asimilación de nutrientes en productividad de biomasa; es por eso que se considera invasoras (García et al., 2009).

Según Romero (como se citó en Cueva, 2016) la *Pistia stratiotes* es una planta flotante, que arroja numerosas raíces, de color verde grisáceo intenso, logran los 15 cm de longitud por 6 cm de ancho. Poseen inflorescencias masculinas y femeninas con ejes muy cortos y rodeados por sendas espatas. Si se mantiene a la planta en un invernadero o acuarios tiene que haber iluminación; no soporta duros inviernos, la temperatura ideal para su desarrollo es de 22 a 30°C y la temperatura mínima es de 15°C.

Figura 2. Morfología de Lechuga de Agua.



Fuente: Royal Botanic Gardens (2009).

Acción depuradora

"La lechuga de agua siendo una planta acuática que cumple con las condiciones para ser apreciada como un buen bioindicador de calidad de agua, es una especie abundante, siendo parte de los ecosistemas acuáticos demostrando un rápido crecimiento" (Rodríguez y García, 2012, p.34).

Tabla 1. Taxonomía de la Pistia stratiotes (lechuga de agua)

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Género	Pistia
Especie	stratiotes

Fuente:

Indicadores de calidad del agua

El término indicador ambiental se puede definir de diferentes maneras. Se pueden describir como "medidas físicas, químicas, biológicas o socioeconómicas que mejor representan los elementos clave de un ecosistema o de un tema ambiental". Otra definición de indicador podría ser "una medida directa o indirecta de la calidad ambiental que se puede usar para evaluar el estado y las tendencias en la capacidad del medio ambiente para apoyar la salud humana y ecológica" (Loné, 2016).

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, 2003), define un indicador como "un parámetro o un valor derivado de parámetros, que sugiere, proporciona información acerca de, o describe el estado de un fenómeno, el medio ambiente o un área, con un significado que se extiende más allá de que estén directamente vinculados con el valor de un parámetro". Los indicadores ofrecen una visión de las condiciones y presiones ambientales y respuestas de la sociedad o gobierno, son sencillos, fáciles de interpretar y capaces de mostrar las tendencias temporales, responden a cambios en el ambiente y las actividades humanas relacionadas, proporcionan una base para las comparaciones internacionales y son aplicables a escala nacional o regional. Todas estas

características haces que sean útiles para monitorear las condiciones en las que se encuentran los ecosistemas acuáticos (Loné, 2016).

Parámetros físicos.

Este parámetro se define como las características físicas que podemos observar en el agua; a continuación, describiremos los parámetros físicos que se analizaron a las aguas residuales.

Temperatura

Jiménez y Barba (2008), nos mencionan que, al medirse la temperatura del agua, nos arroja un resultado de suma importancia porque el procedimiento es primordial, puesto que al aumentar se altera la solubilidad de todas sus sustancias, creciendo así los sólidos suspendidos y disminuyendo los gases.

Potencial de hidrógeno (pH)

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Se considera que el pH de las aguas tanto crudas como tratadas debería estar entre 5,0 y 9,0. Cuando es más bajo indica

la existencia de volcamientos ácidos y si es alto, estos son alcalinos y ambos provienen de comercios o industrias. En cualquier caso, son perjudiciales para las cañerías, equipos de bombeo e impactan en los sitios de disposición final (Castro, 1987).

Color: las aguas residuales que llegan a la PTAR tienen un color gris y, conforme pasa el tiempo, se torna negra, quiere decir que el agua residual se vuelve séptica. Pero puede tomar otros colores como verde (eutrofización) o rosácea (exceso de materia orgánica), indicando que las lagunas están trabajando mal y existe algún problema (Moret, 2014).

Parámetros químicos

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).

El parámetro de polución orgánica más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales es la DBO a los 5 días (DBO5). Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos durante la estabilización de la

materia orgánica susceptible de descomposición en condiciones aerobias (Romero, 2005).

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar químicamente los materiales orgánicos presentes en una muestra de agua. Es una prueba analítica que permite determinar el contenido de materia orgánica biodegradable en una muestra de aguas residuales midiendo el consumo de oxígeno por una población microbiana heterogénea en presencia de nutrientes. La importancia de esta prueba radica en que es un parámetro ambiental que da una medida del grado de contaminación. Medida en cada poza artificial permitiendo calcular la remoción del mismo (Romero, 2005).

Materia orgánica.

La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas. La urea, principal constituyente de la orina, es otro importante compuesto orgánico del agua residual. En razón de la rapidez con que se descompone, la urea es raramente hallada en un agua residual que no sea muy reciente. El agua residual contiene también pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas como agentes tensos activos, fenoles y pesticidas usados en la agricultura. Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables (Manga et al., 2007).

Sólidos totales. Los sólidos totales presentes en el agua residual se clasifican según su tamaño o presentación en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

Sólidos suspendidos: son las partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos sencillos. Dentro de los sólidos suspendidos se pueden distinguir los sólidos sedimentables, que se depositarán por gravedad en el fondo de los receptores. Estos sólidos, son una medida aproximada de la cantidad de fango que se eliminará mediante sedimentación (Espinoza, 2010).

Parámetros Microbiológicos:

[…]Coliformes fecales:

La contaminación de las aguas por materia fecal presenta el factor de mayor importancia en la determinación de la calidad del agua. Las heces contienen variedad de microorganismos patógenos. Los organismos patógenos justifican la razón principal del tratamiento de las aguas residuales. Los organismos patógenos se presentan en las aguas residuales contaminadas en cantidades reducidas y resultan difíciles de identificar como de aislar. Es por ello que se emplea el organismo coliforme como organismo indicador. Se considera que la presencia de coliformes logra ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos, indica que las aguas están libres de organismos que pueden causar enfermedades a los organismos multicelulares (humanos, animales y otros) (Metcalf & Eddie, 1996).

Glosario de términos básicos

- **Monitoreo:** Es la toma de muestra para un análisis de parámetros, consiste en igual manera en la conservación para garantizar las condiciones óptimas y un correcto resultado (RNE–Obras de saneamiento, 2012).
- **Afluente:** agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (Norma OS.090).
- **Efluente:** líquido que sale de un proceso de tratamiento (Norma OS.020).
- **Agua Residual Doméstica:** Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014).
- **PTAR:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales. Domésticas. (OEFA, 2014).
- **ECA:** Es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente (OEFA, 2014).

- **Tratamiento de agua:** Remoción por métodos naturales o artificiales de todas las materias objetables presentes en el agua, para alcanzar las metas especificadas en las normas de calidad de agua para consumo humano (RNE–Obras de saneamiento, 2012).
- **Humedal artificial**: son considerados como lagunajes clásicos, con las diferencias de que se opera con menor profundidad (inferiores a 0,4 metros), y que, se encuentran pobladas por plantas acuáticas flotantes y/o emergentes (CARHUARICRA, 2019).
- **Cadena de custodia:** Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Es la evidencia de la trazabilidad del muestreo. Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (MVCS, 2019).
- **Muestra de agua:** parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en la cual se analizan los parámetros de interés (MVCS, 2019).
- **Preservante:** Es una solución química que inhibe y/o estabiliza la muestra para conservar las características de la muestra de agua residual hasta el momento del análisis (MVCS, 2019).
- **Punto de monitoreo o punto de control:** Es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad (en este caso del agua residual cruda y tratada) en forma periódica (MVCS, 2019).
- **Alcantarillado:** Sistema de colectores que utiliza para la conducción de aguas residuales o pluviales (ANA, 2020).

Marco referencial

Decreto supremo Nº 003-2010-Minam

Artículo 1º.-

Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR) Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2°.- Definiciones

-Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- Límite Máximo Permisible (LMP).–Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

-Protocolo de Monitoreo.–Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo."

Artículo 3°.–

Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

- Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

- Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3.- Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio

de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

- Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación."

Tabla 2. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetro	**Unidad**	**Lmp de efluentesn para vertidos a cuerpos de agua**
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales Suspensión	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente:

Ley N° 28611.- Ley general del ambiente

Artículo 31°.- Del Estándar de Calidad Ambiental.

El Estándar de Calidad Ambiental–ECA es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (…)".

Artículo 121°.- Del vertimiento de aguas residuales.

El Estado emite en base a la capacidad de carga de los cuerpos receptores, una autorización previa para el vertimiento de aguas residuales domésticas, industriales o de cualquier otra actividad desarrollada por personas naturales o jurídicas, siempre que dicho vertimiento no cause deterioro de la calidad de las aguas como cuerpo receptor, ni se afecte su reutilización para otros fines, de acuerdo a lo establecido en los ECA correspondientes y las normas legales vigentes."

Artículo 122°.- Del tratamiento de residuos líquidos.

Corresponde a las entidades responsables de los servicios de saneamiento la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales.

El sector Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de LMP en los residuos líquidos domésticos, en coordinación con las autoridades sectoriales que ejercen funciones relacionadas con la descarga de efluentes en el sistema de alcantarillado público.

Las empresas o entidades que desarrollan actividades extractivas, productivas, de comercialización u otras que generen aguas residuales o servidas, son responsables de su tratamiento, a fin de reducir sus niveles de contaminación hasta niveles compatibles con los LMP, los ECA y otros estándares establecidos en instrumentos de gestión ambiental, de conformidad con lo establecido en las normas legales vigentes. El manejo de las aguas residuales o servidas de origen industrial puede ser efectuado directamente por el generador, a través de terceros debidamente autorizados a o a través de las entidades responsables de los servicios de saneamiento, con sujeción al marco legal vigente sobre la materia."

LEY N° 29338.- Ley de recursos hídricos

Artículo 79°.- Vertimiento de agua residual.

La Autoridad Nacional autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marina, previa opinión técnica favorable

de las Autoridades Ambiental y de Salud sobre el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA-Agua) y Límites Máximos Permisibles (LMP). Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la Autoridad Nacional debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas. Corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado."

Artículo 82°.- Reutilización de agua residual.

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional. El titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización. La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

Texto único ordenado del reglamento de la ley general de servicios de saneamiento–LEY N° 26338, aprobado por decreto supremo N° 023-2005-vivienda

Artículo 4°.- Definiciones.

En aplicación de la Ley General y el presente Reglamento, entiéndase por:

1. Agua potable: Agua apta para el consumo humano, de acuerdo con los requisitos físicos químicos y microbiológicos establecidos por la normatividad vigente.

2. Agua servida o residual: Desecho líquido proveniente de las descargas por el uso de agua en actividades domésticas o de otra índole.

3. Aguas servidas tratadas o aguas residuales tratadas: Aguas servidas o residuales procesadas en sistemas de tratamiento para satisfacer los requisitos de calidad señalados por la autoridad sanitaria, en relación con la clase de cuerpo receptor al que serán descargadas o a sus posibilidades de uso.

Artículo 17°.-

Los niveles de calidad de los servicios en la EPS serán establecidos por la SUNASS, por lo menos para los siguientes aspectos de la prestación del servicio:

a) Calidad del agua potable.

b) Continuidad del servicio.

c) Cantidad de agua potable suministrada.

d) Modalidad de distribución de agua potable.

e) Modalidad de disposición de las aguas servidas o de eliminación de excretas.

f) Calidad de efluente de modo que no afecte las condiciones del cuerpo receptor y el medio ambiente."

Artículo 19°.-

Las EPS están obligadas a ejercer permanentemente el control de calidad de los servicios que prestan, de acuerdo a las normas respectivas, sin perjuicio de la acción fiscalizadora de la SUNASS."

Artículo 24°.-

De acuerdo a lo establecido en los artículos 5 y 7 de la Ley General, la municipalidad provincial es responsable por el acceso y la prestación de los servicios de saneamiento en todo su ámbito. Se considera EPS a aquella empresa cuya población urbana dentro de su ámbito de responsabilidad sea mayor a

quince mil (15,000) habitantes. Los servicios de saneamiento en una capital de provincia o en un distrito que cuente con una población urbana mayor a quince mil (15,000) habitantes, deben ser prestados necesariamente por una EPS, siendo ello de responsabilidad de la municipalidad provincial o distrital, según corresponda. Para constituir una EPS pública, municipal o mixta se deberá contar previamente con la autorización de la SUNASS y del Ente Rector, para lo cual las municipalidades correspondientes deberán demostrar al menos la viabilidad económica financiera de la nueva EPS."

Artículo 55°.-

La EPS, de acuerdo con la Ley General y el presente reglamento tendrá las siguientes funciones:

a) La producción, distribución y comercialización de agua potable, así como la recolección, tratamiento y disposición final de las aguas servidas, recolección de las aguas pluviales y disposición sanitaria de excretas.

b) La operación, mantenimiento y renovación de las instalaciones y equipos utilizados en la prestación de los servicios de saneamiento de acuerdo a las normas técnicas correspondientes y a lo establecido en el presente reglamento.

c) La prestación de los servicios, en los niveles y demás condiciones establecidas en el Reglamento de Prestación de Servicios, la normatividad vigente, en su respectivo contrato de explotación, de concesión u otra modalidad de participación privada, según corresponda. d) La formulación y ejecución de los Planes Maestros Optimizados.

e) El asesoramiento en aspectos técnicos y administrativos a las localidades del ámbito rural, comprendidas en su ámbito de responsabilidad.

f) La aprobación y supervisión de los proyectos a ser ejecutados por terceros dentro de su ámbito de responsabilidad.

g) Otras funciones que sean establecidas en el correspondiente contrato de explotación, de concesión u otra modalidad de participación privada, según corresponda."

Ley N° 27972–Ley orgánica de municipalidades

Artículo 80°.- Saneamiento, Salubridad y Salud.

Las municipalidades, en materia de saneamiento, salubridad y salud, ejercen las siguientes funciones:

1. Funciones específicas exclusivas de las municipalidades provinciales:

.Regular y controlar el proceso de disposición final de desechos sólidos, líquidos y vertimientos industriales en el ámbito provincial. (…)

2. Funciones específicas compartidas de las municipalidades provinciales:

Administrar y reglamentar directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando por economías de escala resulte eficiente centralizar provincialmente el servicio. (…) Proveer los servicios de saneamiento rural cuando éstos no puedan ser atendidos por las municipalidades distritales o las de los centros poblados rurales, y coordinar con ellas para la realización de campañas de control de epidemias y sanidad animal.

Difundir programas de saneamiento ambiental en coordinación con las municipalidades distritales y los organismos regionales y nacionales pertinentes (…).

4. Funciones específicas compartidas de las municipalidades distritales:

Administrar y reglamentar, directamente o por concesión el servicio de agua potable, alcantarillado y desagüe, limpieza pública y tratamiento de residuos sólidos, cuando esté en capacidad de hacerlo.

Proveer los servicios de saneamiento rural y coordinar con las municipalidades de centros poblados para la realización de campañas de control de epidemias y control de sanidad animal (…)."

Reglamento de organización y funciones del ministerio de salud–anexo, aprobado por decreto supremo N° 023-2005-SA

Artículo 50°.- Dirección de Ecología y Protección del Ambiente

La Dirección de Ecología y Protección del Ambiente está a cargo de las siguientes funciones generales:

(…) b) Vigilar la calidad de los recursos agua, aire y suelo para identificar riesgos a la salud humana. (…)

h) Diseñar e implementar el sistema de registro y control de vertimientos en relación a su impacto en el cuerpo receptor; así como el registro y control de plaguicidas y desinfectantes de uso doméstico, industrial y en salud pública. (….)"

Artículo 51°.- Dirección de Saneamiento Básico

La Dirección de Saneamiento Básico está a cargo de las siguientes funciones generales:

(…) b) Establecer las normas técnicas sanitarias, del abastecimiento de agua para consumo humano; el manejo, reúso y vertimiento de aguas residuales domésticas y disposición de excretas; el manejo de residuos sólidos; y la vigilancia y control de artrópodos vectores de enfermedades transmisibles y plagas de importancia en salud pública, en el marco de la normatividad vigente.

(…) d) Vigilar la calidad sanitaria de los sistemas de agua y saneamiento para la protección de la salud de la población.

Hipótesis

Hipótesis general

La capacidad y efectividad de la planta *Pistia stratiotes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en el cercado del distrito de Bellavista – Sullana.

Hipótesis específicas

La planta *Pistia stratiotes* puede eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas del cercado del distrito de Bellavista–Sullana, incluyendo compuestos orgánicos y metales pesados.

Los factores como la temperatura y la calidad del agua influyen en la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la planta *Pistia stratiotes* en el contexto específico del cercado del distrito de Bellavista.

Marco metodológico

Enfoque:

Cuantitativo.

Diseño:

Experimental.

Nivel:

Explicativo.

Tipo:

Básica

Sujetos de la investigación

Universo: Aguas residuales domésticas del Distrito de Bellavista – Sullana.

Población: Muestras colectadas de agua residual de la red principal de desagüe del cercado del Distrito de Bellavista.

Capítulo 3

Métodos y procedimientos: una explicación técnico-científica

Se transladó con el vehículo a un canal cerca al Rio Chira, para la recolección de la planta *Pistia Stratiotes*, se colocó los implementos de Bioseguridad como el mandil o guardapolvo, y guantes, recolectamos un aproximado de 40 plantas de diferentes tamaños. Se colocaron en tinas y se llevaron al lugar donde se iba a colocar los humedales artificiales. Durante este proceso se tomaba las fotos respectivas con un teléfono móvil como evidencia. Luego se lavaron y colocaron con agua limpia, se dejaron una semana con agua limpia para que se purifiquen y sean más eficientes. Cada dos días se cambió de agua limpia. Después de 7 días, se empezó con la recolección de agua residual.

De ahí se fue al buzón, donde fue el punto de monitoreo o de control, donde se iba a extraer el agua, se colocó estacas con base de concreto con cinta de seguridad para cercar el área, con los implementos de seguridad puestos, como el casco, guardapolvo, guantes y mascarilla, se procedió a retirar la tapa con la ayuda de un obrero y un balde pequeño de 4L, se recolectó 30 litros de agua residual por cada recipiente de 40 L de capacidad, en total fueron 90 litros, se distribuyeron en 3 recipientes.

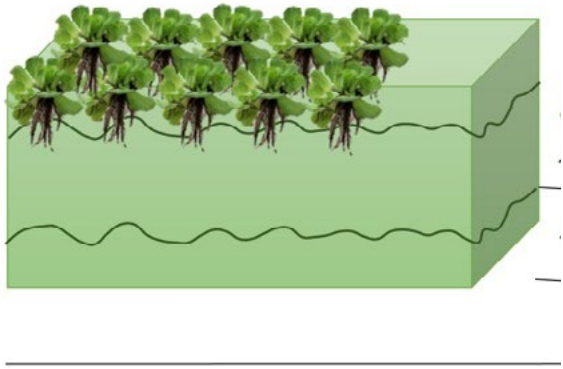
Por consiguiente, se midió con 7 baldes de 4 litros para recolectar el agua residual de la red de alcantarillado, y poder calcular la cantidad requerida. En la toma de muestra, se tomó las muestras en donde se depositaron en dos frascos de vidrio para los parámetros aceites y grasas y Coliformes Fecales y uno de plástico, para los parámetros fisicoquímicos, como DQO, DBO5, SST, PH y T°. En el envase de plástico se enjuagó con la misma agua y luego se llenó el frasco se cerró y se almacenó en el cooler en este caso fue una caja de tecnopor, luego se llenó el frasco de vidrio, y se realizó lo mismo. Todos los datos fueron escritos en cuaderno de campo y en la custodia. En este caso no se colocaron reactivos para su conservación, ya que las muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio (según las indicaciones del laboratorio, así mismo los materiales, que fueron la caja de tecnopor, y ICE PACK).

Luego las muestras se taparon convenientemente y como era una sola toma de muestras de análisis, se etiquetó uno solo, en una caja de tecnopor, de forma que quedó asegurada para su transporte. Antes de la toma de la muestra se rotularon los frascos mediante un marcador resistente al agua (plumón indeleble), con una referencia que permita su reconocimiento.

En la Instalación del humedal artificial, se utilizó 3 recipientes de plástico con los 30L de agua residual doméstica se ubicaron en un lugar amplio.Se colocaron los recipientes de plásticos en una base alta, cada uno en una silla, en un ambiente fresco, al aire libre. Luego se colocaron las plantas acuáticas, *Pistia Stratiotes* L. "lechuguilla de agua", una por una, siendo una de estas para el testigo

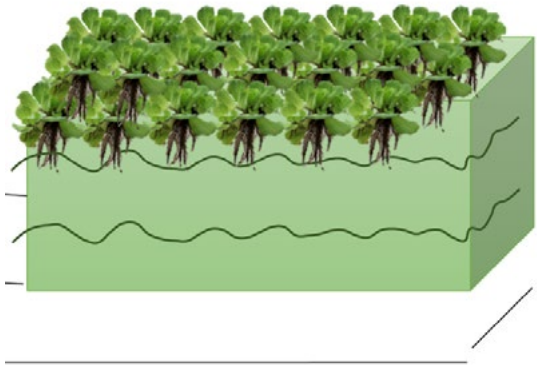
(sin nada de plantas) la segunda se colocó 10 plantas, la última se colocaron 20 plantas. Posteriormente se tomaron otras muestras, después de 7 días y 15 días, en este caso fueron 3 muestras diferentes, del humedal sin plantas, humedal con 10 plantas y humedal con 20 plantas.

Figura 3. Humedal con 10 plantas



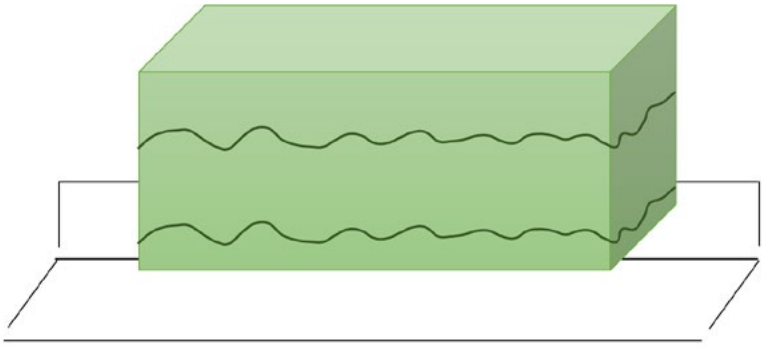
Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Humedal con 20 plantas



Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Humedal sin plantas



Fuente: elaboración propia.

Después de 7 días del tratamiento: se observó que el agua del humedal con 10 plantas, era un poco clara, mientras el humedal con 20 plantas, era un poco más clara, mientras, el recipiente sin plantas, se mantenía turbia y verdosa. Se tomaron 3 muestras de análisis, una del recipiente sin plantas, otra del recipiente con 10 plantas, y el último del recipiente de 20 plantas. En el recipiente sin plantas, se colocó en dos frascos de vidrio y uno de plástico, dependiendo los parámetros requeridos. En el envase de plástico se enjuagó con la misma agua y luego se llenó el agua, Las muestras se taparon convenientemente, se etiquetó y rotuló cada frasco de cada muestra, mediante un marcador resistente al agua (plumón indeleble), luego se almacenó en el cooler en este caso fué una caja de tecnopor, luego se llenó el frasco de vidrio, y se realizó el mismo procedimiento en los demás recipiente con 10 plantas y el recipiente de 20 plantas. Todos los datos fueron escritos en cuaderno de campo y en la cadena de custodia, en este caso no se colocaron reactivos para su conservación, ya que las muestras fueron llevadas inmediatamente al laboratorio (según las indicaciones del laboratorio, así mismo los materiales, que fueron los frascos, la caja de tecnopor, y ICE PACK).

En la Tercera toma de muestra, a los 15 días de tratamiento, se realizó los análisis en otro laboratorio ALAB, se tomó las 3 muestras, se realizó el mismo procedimiento, todos los datos fueron escritos en cuaderno de campo y en la cadena de custodia, en este caso si se colocaron preservantes y se llevaron inmediatamente al laboratorio (según las indicaciones respectivas del laboratorio, los materiales dados por el laboratorio como los frascos de vidrio y de plástico, el cooler y ICE PACK).

Por último, en el Análisis de la planta al culminar el tratamiento se mandó a analizar las plantas para complementar la efectividad de la planta, se eligió las plantas sin tratamiento y con el tratamiento, se seleccionó cuidadosamente y se colocaron en cuatro bolsas de ziploc diferentes, una para las raíces sin tratamiento y otra con tratamiento y las otras dos para los folículos sin y con tratamiento, se anotó en la cadena de custodia, solo se rotularon, ya que las etiquetas ya estaban en las bolsas ziplop dadas por el laboratorio, se colocaron en una caja de tecnopor sin preservantes y a temperatura ambiente, todo esto según las indicaciones del laboratorio ALAB, posteriormente fueron llevadas al laboratorio.

Técnicas e instrumentos

Técnicas de muestreo:

Simple, se tomó las respectivas muestras una sola vez en la red principal de alcantarillado y después de 7 días y 15 días de tratamiento, se tomará tres muestras diferentes.

Técnicas de recolección:

De campo, donde se define la fuente para el estudio.

Instrumentos de recolección de datos:

Observación, registro de datos de campo y/o cadena de custodia y revisión bibliográfica

Técnicas de análisis:

En los análisis que se obtuvieron del laboratorio, se analizaron los datos y posteriormente se realizó por medio del programa de EXCEL (gráficos, tablas, porcentajes, etc.).

Aspectos éticos

Se siguió los procesos y métodos de laboratorio experimental sin hacer impacto negativo al ambiente, siguiendo la ética de todo investigador respetando a los involucrados (pobladores del cercado de distrito de Bellavista, plantas, animales), etc.

Capítulo 4

Pistia stratiotes en el contexto específico del cercado del distrito de Bellavista

Se obtuvieron resultados de tres humedales, uno de control que no tenía plantas, el segundo humedal de 10 plantas, y el tercero de 20 plantas, para controlar y verificar la magnitud de la eficiencia de remoción de la planta sobre aguas residuales domésticas.

Tabla 3. Análisis de agua residual doméstica antes del tratamiento (A.T)

Parametros	**Resultados del laboratorio laresa piura**	**LMP D.S N° 003-2010- MINAM**	**Conformidad**
Aceites y grasas (mg/L)	3.5	Max. 20	Conforme
DBO5 (mg/L)	12.3	Max. 100	Conforme
DQO (mg/L)	923.68	Max. 200	No conforme
pH	7.8	6.5–8.5	Conforme
Sólidos Totales en Suspensión (mg/L)	27	Max. 150	Conforme
Coliformes fecales (NM/100ml)	1600000	10000	No conforme

Fuente:

Tabla 4. Resultados después de 7 días de tratamiento.

LABORATORIO LARESA PIURA			
PARAMETROS	**P1-HSP (Humedal sin Plantas)**	**P2-HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**P3-HC20P (Humedal con 20 plantas)**
Aceites y grasas (mg/L)	11.8	2.2	1.8
DBO5 (mg/L)	29.99	0.07	6.72
DQO (mg/L)	722.88	180.72	180.72
pH	8.27	7.95	7.92
Sólidos Totales en Suspensión (mg/L)	33.5	16.5	4.5
Coliformes fecales (NM/100ml)	3400	63000	68000
T° (C°)	23	22	22

Fuente:

Tabla 5. Resultados después de 15 días de tratamiento

Laboratorio alab piura			
Parametros	**P1-HSP (Humedal sin Plantas)**	**P2-HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**P3-HC20P (Humedal con 20 plantas)**
Aceites y grasas (mg/L)	0.75	0.45	0.35
DBO5 (mg/L)	45.8	51.9	29.5
DQO (mg/L)	122	126.9	73.6
pH	8.23	7.48	7.08
Sólidos Totales en Suspensión (mg/L)	36	16.3	12
Coliformes fecales (NM/100ml)	17000	3500	210
T° (C°)	19.4	19.5	19.4

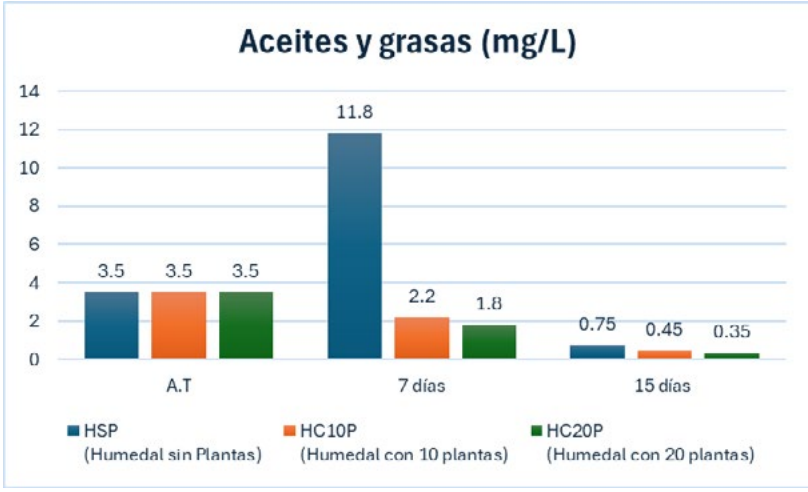
Fuente:

Tabla 6. Variación de Aceites y grasas

Aceites y grasas (mg/L)			
Tratamiento	**HSP (Humedal sin Plantas)**	**HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**HC20P (Humedal con 20 plantas)**
A.T	3.5	3.5	3.5
7 días	11.8	2.2	1.8
15 días	0.75	0.45	0.35

Fuente:

Figura 6. Diagrama de barras de la variación de Aceites y grasas con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

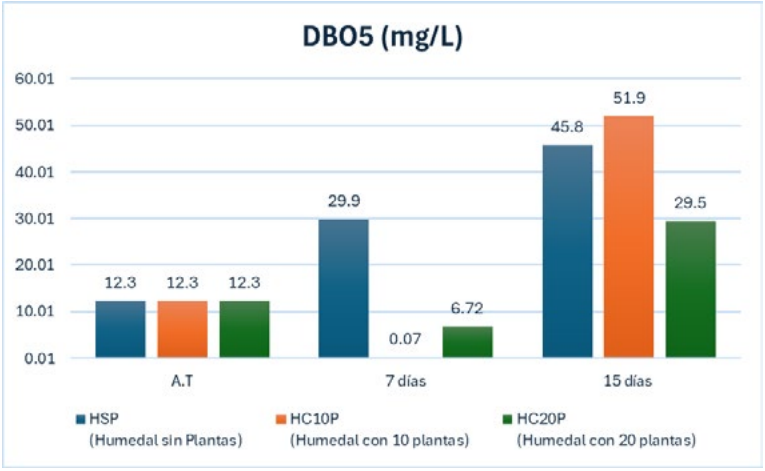
En la figura 6, se muestra la disminución de Aceites y grasas con *Pistia Stratiotes*, antes del tratamiento tuvo un valor de 3.5 mg/L, y a los 15 días se redujo a 0.45 mg/L y 0.35 mg/L.

Tabla 7. Variación de DBO5

DBO5 (mg/L)			
tratamiento	**HSP (Humedal sin Plantas)**	**HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**HC20P (Humedal con 20 plantas)**
A.T	12.3	12.3	12.3
7 días	29.9	0.07	6.72
15 días	45.8	51.9	29.5

Fuente:

Figura 7. Diagrama de barras de variación de DBO5 con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

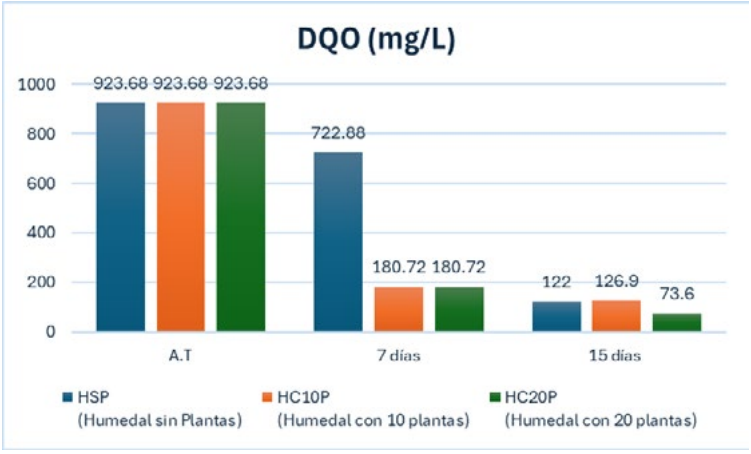
En la figura 8, se muestra la disminución de DBO5 con *Pistia Stratiotes*, antes del tratamiento obtuvo un valor de 12.3 mg/L, a los 7 días, hubo una reducción a 0.07 y 6.72 en ambos humedales con plantas, mientras en 15 días subió la cantidad a 51.9 mg/L y 29.5 mg/L, la cual su valor óptimo fué a los 7 días.

Tabla 8. Variación de DQO

DQO (mg/L)			
tratamiento	**HSP (Humedal sin Plantas)**	**HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**HC20P (Humedal con 20 plantas)**
A.T	923.68	923.68	923.68
7 días	722.88	180.72	180.72
15 días	122	126.9	73.6

Fuente;

Figura 9. Diagrama de barras de variación de DQO con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

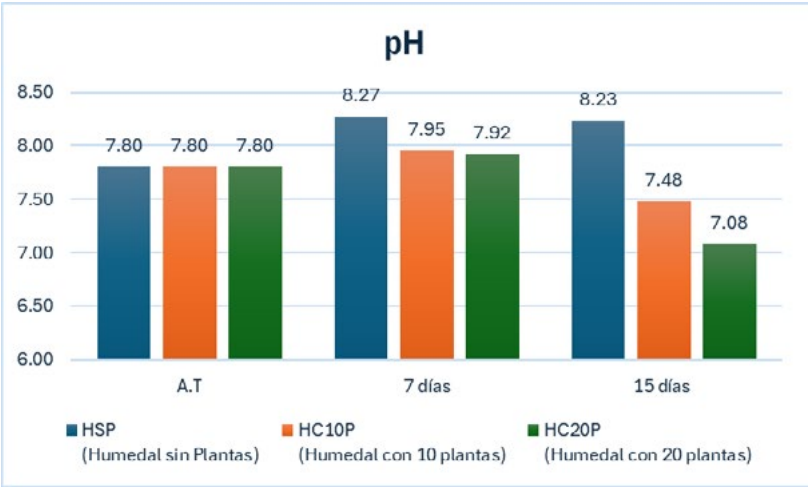
En la figura 9, se muestra la gran disminución del DQO con *Pistia Stratiotes*, antes del tratamiento obtuvo una cantidad de 923.68 mg/L, mientras que a los 15 días, hubo una reducción de 126.9 mg/L y 73.6 mg/L, en ambos humedales con plantas.

Tabla 9. Variación de pH

pH			
tratamiento	**HSP (Humedal sin Plantas)**	**HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**HC20P (Humedal con 20 plantas)**
A.T	7.8	7.8	7.8
7 días	8.27	7.95	7.92
15 días	8.23	7.48	7.08

Fuente:

Figura 10. Diagrama de variación de PH con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

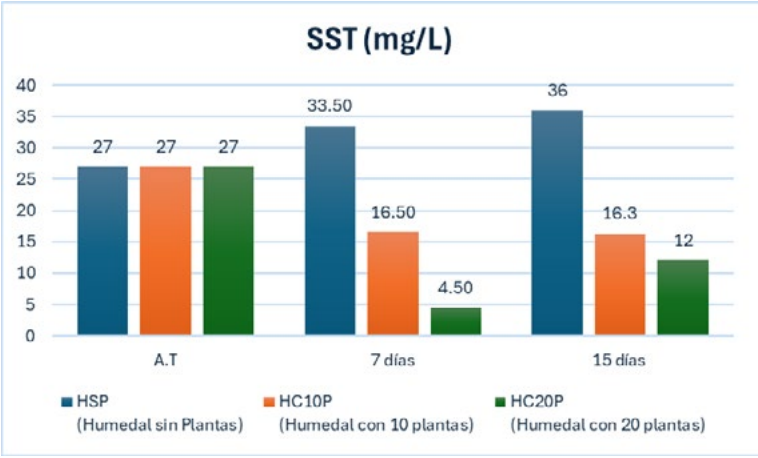
En la figura 10, se muestra la disminución de pH con *Pistia Stratiotes*, antes del tratamiento obtuvo el valor de 7.80, donde aumentó a los 7 días, a 7.95 y 7.92, mientras a los 15 días, se redujo a 7.48 y 7.08 en ambos humedales con plantas.

Tabla 10. Variación de SST

SST (mg/L)			
tratamiento	HSP (Humedal sin Plantas)	HC10P (Humedal con 10 plantas)	HC20P (Humedal con 20 plantas)
A.T	27	27	27
7 días	33.5	16.5	4.5
15 días	36	16.3	12

Fuente:

Figura 11. Diagrama de variación de Sólidos totales suspendidos con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

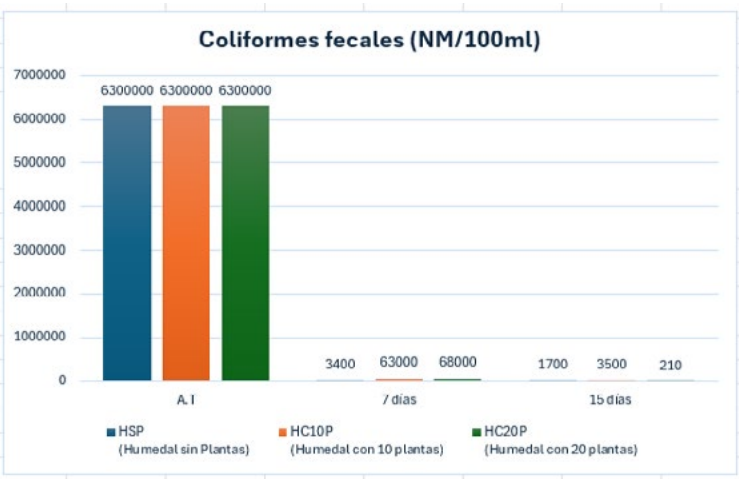
En la figura 11, se muestra la disminución de Sólidos Totales Suspendidos con *Pistia Stratiotes*, antes del tratamiento obtuvo un valor de 27 mg/L, a los 15 días, se redujo a 16.3 mg/L y 12 mg/L en ambos humedales con plantas.

Tabla 11. Variación de Coliformes Fecales

COLIFORMES FECALES (NM/100ml)			
tratamiento	**HSP (Humedal sin Plantas)**	**HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**HC20P (Humedal con 20 plantas)**
A.T	6300000	6300000	6300000
7 días	3400	63000	68000
15 días	1700	3500	210

Fuente:

Figura 12. Diagrama de Coliformes Fecales con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

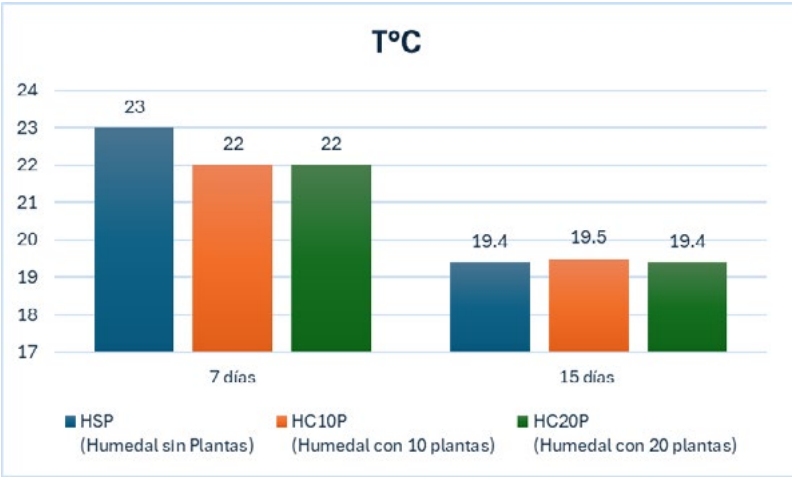
En la figura 12, se muestra la disminución de Coliformes Fecales con *Pistia Stratiotes*, antes del tratamiento obtuvo un valor de 6300000 NM/100ml, hubo una disminución progresiva hasta los 15 días, obteniendo un resultado de 3500 NM/100ml y 210 NM/100ml en ambos humedales con plantas.

Tabla 12. Variación de T°C

T°C			
tratamiento	**HSP (Humedal sin Plantas)**	**HC10P (Humedal con 10 plantas)**	**HC20P (Humedal con 20 plantas)**
7 días	23	22	22
15 días	19.4	19.5	19.4

Fuente:

Figura 13. Diagrama de variación de temperatura con *Pistia Stratiotes* en función del tiempo



Fuente:

En la figura 13, se muestra la disminución de temperatura con *Pistia Stratiotes*, se tomó la temperatura a los 7 días, se obtuvo un resultado de 22° C en ambos humedales con plantas, mientras a los 15 días disminuyeron a 19.5° C y 19.4° C.

Tabla 13. Resultados de Análisis de la planta *Pistia Stratiotes* con Plomo

LABORATORIO ALAB			**CONFORMIDAD**	
ENSAYO PLOMO (mg/Kg)	**SIN TRATAMIENTO**	**CON TRATAMIENTO**	**L.D.M**	**L.C.M**
Foliar	< 3.00	< 3.00	< 1.00	< 3.00
Raíz	< 3.00	17.3	< 1.00	< 3.00
LCM: Límite de cuantificación de método/ "<"= menor que el LCM				
LDM: Límite de detección de método/ "<"= menor que el LDM				

Fuente:

En la Tabla 13, Se realizó un análisis de un metal pesado, el plomo, en dos plantas, una sin tratamiento y otra con tratamiento, el análisis fue de dos partes de la planta, foliar y raíz, donde se puede observar que la parte de la planta donde ha absorbido este metal pesado, es la raíz con un 17.30 mg/Kg después del tratamiento. Por lo que demuestra que fue efectiva la *Pistia Stratiotes*.

Capacidad y efectividad de la planta *Pistia stratiotes*

Los resultados de los parámetros evaluados mostraron una cantidad de remoción de acuerdo al contacto con la *Pistia stratiotes* por un periodo de 7 días y 15 días.

La *Pistia Stratiotes* se aclimató de manera precisa al medio por cual se disminuyó para el tratamiento de aceites y grasas; por lo que antes del tratamiento tuvo un valor de 3.5 mg/L, a los 7 días, los humedales con plantas disminuyeron con un porcentaje de 37.14% y 48.53%, y a los 15 días, los humedales con plantas obtuvieron un porcentaje de remoción de 87.14% y 90%, Por lo que coincide con Delgado (2021) obteniendo a los 7 días un valor de 25.49%, a los 14 días de 64.71% y a los 21 días hubo un aumento de 113.73 %, lo que demuestra que, para este tipo de modelo y tratamiento, los aceites y grasas aumentan oportunamente con los días y el ingreso de más agua**.** Por lo tanto, en esta investigación fue un modelo de tratamiento de 7 días diferente, lo cual no hubo más ingreso de agua, por lo que sí hubo una disminución de aceites y grasas en su totalidad. Eso demuestra la efectividad de la planta *Pistia Stratiotes*.

En el DBO5, antes del tratamiento obtuvo un valor de 12.30 mg/L, a los 7 días, los Humedales con plantas obtuvieron un porcentaje de remoción de 99.76% y 99.43% , mientras que a los 15 días, los humedales con plantas aumentaron con un porcentaje de 321.9% y 138.84%, por lo cual el porcentaje con más remoción fue del 99.76% a los 7 días, la cual también coincide con Delgado (2021) en donde también utiliza la misma planta *Pistia stratiotes* indicando que la DBO5 obtuvo el valor óptimo a los 7 días de 62.37%, subiendo considerablemente a los 14 un 6.81% y aumentando a los 21 días con un 2.49% haciendo más efectiva la *Pistia stratiotes* a los 7 días de tratamiento.

También en la DQO, se observa que antes del tratamiento, tuvo una cantidad muy elevada, que fue de 923.68 mg/L, después de 7 días, ambos humedales con plantas se redujeron a un porcentaje de 80.43 %, mientras a los 15 días, los humedales con plantas se redujeron en su totalidad con un porcentaje de remoción de 86.26 % y 92.03 %. por lo tanto, eso demuestra que los humedales fueron más eficientes a los 15 días, obteniendo el porcentaje óptimo de 92.03%. Por lo que también coincide con Delgado (2021) nos dice que el DQO en su tratamiento de *Pistia stratiotes*, a los 7 días, obtuvo una disminución adecuada de 68.94%, a los 14 días, se incrementó obteniendo un porcentaje de remoción de 30.93%, a los 21 días con una remoción de 15.68%. Eso explica que en 7 días si es suficiente para la remoción con *Pistia stratiotes*, ya que en esta investigación la remoción fue efectiva a los 7 días; también nos confirma Bazán (2022) mostrando valores similares cercanos a los15

días, durante a los 21 días se obtuvo la variación porcentual de 85.87%". También en García y parejas (2021) realizó su tratamiento en 3 días, y una de las plantas que utilizó fue la *pistia stratiotes*, obteniendo un porcentaje de remoción un 74.34%. Eso demuestra que apenas avanza los días sigue siendo efectiva la plantas.

Por otro lado, en el PH, antes del tratamiento obtuvo un valor de 7.80, a los 7 días, los humedales con plantas aumentaron con un porcentaje de 1.92% y 1.54%, y a los 15 días, disminuyeron en una variación de 4.10% y 9.23%. la cual tuvo mayor reducción 9.23 %. por lo cual coincide con Delgado (2021) en su tratamiento con *Pistia stratiotes*, obtuvo un aumento progresivo en los diferentes días, a los 7 días de 8.27%, a los 14 días un 18.67% y a los 21 fue la variación más grande con 20.43%. Por lo que, en esta investigación, solo a los 15 días disminuyó su porcentaje, demostrando buenos resultados.

Despues en los SST, antes del tratamiento se obtuvo un valor de 27 mg/L, a los 7 días de tratamiento los Humedales con plantas, se redujeron con un porcentaje de 38.89% y 83.33%, y a los 15 días, uno se redujo a 39.63%, y el otro aumentó dando un porcentaje de remoción de 55.56%. donde su valor optimo fue 83.33% a los 7 días, según Delgado (2021) nos dice en su tratamiento con *Pistia Stratiotes*, los SST aumentaron obteniendo a los 7 días de 32.72%, a los 14 de 241.82% y a los 21 de 286.7%, lo cual nos indica que el aumento puede ser por la descomposición de las plantas, ya que ningún modelo de tratamiento cumple con la exigencias, lo cual en esta investigación concuerda con lo que dice el autor, puede disminuir y aumentar, y en este caso se disminuyó a los 7 días y aumentó a los 15 días, pero si se encuentra dentro de los límites en los diferentes días, no obstante también concuerda la causa del deterioro de las plantas, por cumplir su función y efectividad. Por consiguiente, también se demuestra que los humedales con plantas redujeron la cantidad de SST a comparación de los resultados de antes del tratamiento.

Para los Coliformes Fecales, antes del tratamiento obtuvo 6300000 NM/100ml, en 7 días, los Humedales con plantas disminuyeron con un porcentaje de 99% y 98.92%, a los 15 días, siguieron disminuyendo con un porcentaje de 99.94% y 99.996%, Con lo cual concuerda con la investigación del autor Delgado (2021) obteniendo valores muy similares en su evaluación de *Pontederia* y *Pistia Stratiotes*, donde con la *Pistia Stratiotes*, hubo una disminución de Coliformes fecales termotolerantes, a los 7 días con 99.85%, a los 14 días con 99.95% y a los 21 días con 99.99%" de remoción, por consiguiente, se demuestra lo cuan efectivo es esta planta para remoción de Coliformes fecales.

Y en la temperatura, después de 7 días, los dos Humedales con plantas obtuvieron 22°C, a los 15 días obtuvieron igual, a 19.4 °C con un porcentaje de variación de 11.82%, por lo que coincide con Delgado (2021), en su trabajo nos

indica que obtuvo a los 14 días una disminución de 1.26% con *Pistia Stratiotes*, por lo que evidencia la capacidad remediadora de la planta *Pistia Stratiotes* por la cual también influyó el clima y la radiación solar.

Por último, en el análisis de la planta se obtuvo un resultado favorable, ya que absorbió a través de la raíz gran cantidad de plomo de 17.3 mg/Kg, lo cual demuestra la afectividad y capacidad, eliminando los contaminantes encontrados en el agua residual. Al igual que lo confirma Huaroc & Martínez (2022) donde la microfita logró disminuir las concentraciones de Pb en aguas superficiales. Indicando que a mayor número de Plantas de *Pistia stratiotes*, disminuye la concentración de los metales. Asimismo, se comprobó que la acumulación de los metales fue más en la raíz. comprobando en esta investigación, se puede apreciar que, a más plantas, mayor es la efectividad de la microfita *Pistia Stratiotes "*lechuga de agua".

Por último, el DQO y los Coliformes Fecales antes del tratamiento no cumplieron los LMP, por consiguiente, con este tratamiento lograron cumplir los LMP. Además, todos estos parámetros mencionados anteriormente, están dentro del rango de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes vertidos a cuerpos de agua, mostrados en la tabla 2.

Conclusiones

Se demostró la capacidad y efectividad de la planta *Pistia Stratiotes* para depurar las aguas residuales domésticas del distrito de Bellavista Sullana. Obteniendo como resultados de aceites y grasas con un porcentaje de remoción máxima a los 15 días de 90%, el DBO5 de 99.76%, DQO con 92.03% y Coliformes Fecales con 99.996%.

Se demostró y comparó que la planta *Pistia stratiotes* pudo eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales domesticas del cercado del distrito de Bellavista–Sullana, incluyendo compuestos orgánicos como los SST con un valor óptimo a los 7 días de 83.33%, y metales pesados, obteniendo buenos resultados de 17.3 mg/kg de absorción, a través del análisis de la planta *Pistia Stratiotes*.

Se analizó la temperatura y el pH influyendo en la calidad del agua, con 9.23% de reducción en pH y Temperatura con 15.63% de reducción, mejorando en la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la planta *Pistia stratiotes* en el contexto específico del cercado del distrito de Bellavista.

Recomendaciones

Se recomienda a las instituciones como EPS GRAU, utilizar esta planta *Pistia Stratiotes* como PTAR o integrarla dentro de los procesos de PTAR, por lo que cumplimentaría con los LMP para efluentes residuales domésticas y así pues sería más efectiva.

Realizar análisis de metales pesados a la planta para optimizar los resultados.

Analizar el agua residual doméstica con el tiempo estimado para la eficiencia de la planta a partir de los 7 días.

Utilizar cantidad considerable de *Pistia Stratiotes* para su mayor efectividad.

Realizar el tratamiento donde la temperatura sea ideal para su desarrollo entre 22 °C a 30°C, mínimo a 15°C

Ejecutar el tratamiento en lugares espaciosos.

Referencias

ANA. (2020). Glosario de términos utilizados en la ley de recursos hídricos N° 29338 y en su reglamento (D.S. N° 001-2010-AG).

Arocutipa, J. (2013). *Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito de alto Inambari – Sandia* [Tesis Pregrado. Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano].

Ballesteros, J. (2011). *Determinación de la eficiencia de Azolla caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados* [Tesis Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

Bazán, E. (2022). *Evaluación de remoción de la materia orgánica con Pistia Stratiotes "repollo de agua" de las aguas residuales porcina de la agropecuaria Lock, distrito de Chancay, Provincia de Huaral- 2020* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión].

Campoverde, M. (2017). *Remoción de Materia orgánica mediante Chrysopogon zizanioides en el tratamiento secundario de aguas residuales domesticas de CITRAR* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur].

Carhuaricra Ferrer, P. (2018). *Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, Limnobium laevigatum y Pontederia crassipes para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle.* Huánuco. Universidad de Huánuco.

Celis, J., Junod, J., y Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria, 14*(1), 17-25.

Cueva, W., y Ramos, G. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies (pistia stratiotes l.) Y (limnobium laevigatum r.) Para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón centinela del cóndor, provincia Zamora Chinchipe* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Loja].

Castro, M. (1987). *Parámetros fisicoquímicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. Lima.* CEPIS.

Delgado, J. (2021). *Evaluación del aporte de las plantas acuáticas Pistia Stratiotes y Pontederia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de Reque provincia de Chiclayo* [Tesis pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].

Duran, J., y Torres, A. (2006). Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad media. *Universidad de Guadalajara, 12*(36).

Espinoza, R. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales San Juan de Miraflores* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Piura].

Garcia, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de ingeniería, Universidad Nacional de Ingeniería].

Garcia, K., y Parejas, B. (2021). *Eficiencia de las macrófitas flotantes, Pistia stratiotes y Pontederia crassipes, en las propiedades físico-químicas y microbiológicas de la PTAR del distrito de Huachac, Chupaca, 2021* [Tesis de ingeniería, Universidad Continental, Huancayo].

Gonzales, O., Ruiz, T., Claro, M., Perez N. M., Perez, G., & Collazo, L. (2014). Estudio de Patentes sobre tecnologías para tratamiento de agua y el agua residual. *Transinformação, 26*(3), 339-347.

Huaroc, C., & Martinez, P. (2022). *Fitorremediación de plomo y cromo total con lechuga de agua (Pistia stratiotes) en aguas superficiales del río Andaychagua, provincia de Yauli, 2021* [Tesis de ingenieria, Universidad Continental].

Jiménez, A., y Barba, Á. (2008). *Determinación de los parámetros fisicoquímicos de calidad de las aguas.* Universidad Carlos.

Loné, P. (2016). Indicadores de calidad del agua. https://n9.cl/ypy4i4

Manga, C., Molinares A., Arrieta P. (2007). *Tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de lagunaje.* Ediciones Uninorte.

Martelo, J., y Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte. *Ingeniería y Ciencia, 8*(15) 221–243.

Meoño Larios, F., González Taranco, C., & Morales Olivares, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer, 2*(2)8–25.

Méndez, J. P., & Marchan, J. (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las EPS del Perú y propuestas de solución.* RyF Publicaciones y servicios S.A.C.

Mendoza, Y., Castro, F. & Marin, J. (2019). *Pontederia crassipes como tratamiento biológico de aguas residuales: fitorremediación con plantas acuáticas como alternativa de tratamiento para aguas domésticas*. Universidad de la Guajira.

Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertimiento y reutilización.* McGraw-Hill.

Ministerio del ambiente – MINAM. (2010). Decreto Supremo Nº 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR).

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2019). *Protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamientos residuales domesticas o municipales.*

Moret, I. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrófitas* [Tesis de pregrado, Universidad de Piura].

Muñoz, A. (2008). *Caracterización y Tratamiento de aguas residuales* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo].

Núñez, R., Meas, Y., Ortegas, R., y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Fitorremedición*, 1-15.

OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.*

Perales, K. (2018). *Tratamiento de aguas residuales por fitorremediación con Eichornia Crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017* [Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Martín].

Rodríguez, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. Iagua. https://n9.cl/mkk9

Romero, J. (2005). *Tratamientos de aguas residuales, teoría y principios de diseño.* Escuela colombiana de ingeniería.

Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., y Ortiz, M. (2009). *Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica.* Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Rojas, R. (2002). *Curso Internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales".* Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. CEPIS/OPS-OMS.

Religación

Press

Ideas desde el Sur Global

Religación
Press

ISBN: 978-9942-561-46-6