

EFICACIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLA DE AGUAJE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

LUSGARDO WIAN PUELLES CHUQUIZUTA

FLAVIO FARCEQUE SANTOS

LUZMERY GONZALES SILVA

SEGUNDO VÍCTOR LEÓN RAMÍREZ

HÉCTOR MANUEL SUAREZ RÍOS

JEYSI SOTERO CHUMBE

ISABEL CRISTINA PEREA DEL ÁGUILA

TONY VENANCIO PEREYRA GONZALES

CESAR AUGUSTO FLORES TANANTA

VÍCTOR ENRIQUE VÁSQUEZ CUEVA



EFICACIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLA DE AGUAJE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

LUSGARDO WIAN PUELLES CHUQUIZUTA

FLAVIO FARCEQUE SANTOS

LUZMERY GONZALES SILVA

SEGUNDO VÍCTOR LEÓN RAMÍREZ

HÉCTOR MANUEL SUAREZ RÍOS

JEYSI SOTERO CHUMBE

ISABEL CRISTINA PEREA DEL ÁGUILA

TONY VENANCIO PEREYRA GONZALES

CESAR AUGUSTO FLORES TANANTA

VÍCTOR ENRIQUE VÁSQUEZ CUEVA

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora mantém um compromisso firme com a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, assegurando que os padrões éticos e acadêmicos sejam rigorosamente cumpridos. Adota políticas para prevenir e combater práticas como plágio, manipulação ou falsificação de dados e resultados, bem como quaisquer interferências indevidas de interesses financeiros ou institucionais.

Qualquer suspeita de má conduta científica é tratada com máxima seriedade e será investigada de acordo com os mais elevados padrões de rigor acadêmico, transparência e ética.

O conteúdo da obra e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade, são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando necessariamente a posição oficial da Atena Editora. O download, compartilhamento, adaptação e reutilização desta obra são permitidos para quaisquer fins, desde que seja atribuída a devida autoria e referência à editora, conforme os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Os trabalhos nacionais foram submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial da editora, enquanto os internacionais passaram por avaliação de pareceristas externos. Todos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises

| Autores:

Nome Autores

Lusgardo Wian Puelles Chuquizuta

Flavio Farceque Santos

Luzmery Gonzales Silva

Segundo Víctor León Ramírez

Héctor Manuel Suarez Ríos

Sotero Chumbe Jeysi

Perea del Águila Isabel Cristina

Tony Venancio Pereyra Gonzales

Cesar Augusto Flores Tananta

Víctor Enrique Vásquez Cueva

| Revisión:

Los autores

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

E27 Eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises / Lusgardo Wian Puelles Chuquizuta, Flavio Farceque Santos, Luzmery Gonzales Silva, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Otros autores

Segundo Víctor León Ramírez

Héctor Manuel Suarez Ríos

Sotero Chumbe Jeysi

Perea del Águila Isabel Cristina

Tony Venancio Pereyra Gonzales

Cesar Augusto Flores Tananta

Víctor Enrique Vásquez Cueva

Formato: PDF

Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acceso: World Wide Web

Incluye bibliografía

ISBN 978-65-258-3502-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.020251508>

1. Carbón. I. Chuquizuta, Lusgardo Wian Puelles. II. Santos, Flavio Farceque. III. Silva, Luzmery Gonzales. IV. Título.

CDD 662.7

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

+55 (42) 3323-5493

+55 (42) 99955-2866

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

El presente libro, titulado *Eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises*, surge como resultado de una profunda inquietud científica y ambiental ante la creciente necesidad de soluciones sostenibles para el manejo del agua en contextos urbanos y rurales. En una era marcada por la escasez hídrica y la contaminación de fuentes naturales, el tratamiento de aguas grises —aquellas provenientes de lavabos, duchas y lavadoras— se perfila como una estrategia clave para la reutilización eficiente del recurso hídrico.

La propuesta investigativa que da origen a esta obra se enmarca en la valorización de recursos naturales locales, como la semilla de aguaje (*Mauritia flexuosa*), un fruto amazónico de alto valor ecológico, cultural y económico. A través de rigurosos análisis experimentales, se evalúa el potencial del carbón activado obtenido a partir de esta semilla como un agente purificador de aguas grises, enfocándose en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos esenciales para garantizar su reutilización segura.

Más allá de ofrecer resultados técnicos y científicos, este libro plantea un modelo de desarrollo ambientalmente responsable que promueve el uso de subproductos orgánicos en la mitigación de problemáticas ambientales. Es una invitación a investigadores, estudiantes, autoridades y comunidades a repensar los enfoques tradicionales de tratamiento de agua, integrando el conocimiento ancestral y los avances de la ciencia contemporánea.

A través de sus páginas, el lector encontrará una combinación de teoría, metodología y análisis de resultados que sustenta la viabilidad del carbón activado de semilla de aguaje como una alternativa ecológica, accesible y eficaz. Con ello, esta publicación busca contribuir al debate sobre la sostenibilidad del agua en el Perú y en otras regiones con similares condiciones socioambientales.

Esperamos que esta obra sirva como un referente útil para futuras investigaciones y proyectos que busquen armonizar el desarrollo humano con la conservación del entorno natural.

RESUMEN

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises en el caserío San José, con un enfoque cuantitativo y un nivel explicativo. Se utilizó una muestra de 14 litros de aguas grises provenientes de 14 hogares del caserío, con un fin de obtener datos representativos sobre los contaminantes presentes. Los resultados iniciales mostraron niveles variables de contaminantes, como aceites y grasas (14 mg/L), coliformes termotolerantes (123 NMP/100 mL) y sólidos suspendidos totales (323 mg/L), los cuales excedían los límites permisibles en algunos casos, especialmente los sólidos suspendidos (150 mg/L). El tratamiento con carbón activado de semilla de aguaje fue evaluado en diferentes dosis, con la prueba ANOVA revelando diferencias significativas entre los grupos ($p < 0.05$). El tratamiento con 3 gramos de carbón activado fue el más eficaz, logrando una reducción promedio del 71.14% en aceites y grasas, 49.02% en coliformes termotolerantes, 55.08% en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y 75.43% en sólidos suspendidos totales. En conclusión, la investigación demostró que el uso de carbón activado de semilla de aguaje es una opción eficaz para el tratamiento de aguas grises en el caserío San José.

PALABRAS-CLAVE: carbón activado, eficacia, aguas grises

ABSTRACT

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the effectiveness of activated carbon from aguaje seed in the treatment of gray water in the San José settlement, with a quantitative approach and an explanatory level. A sample of 14 liters of gray water from 14 households in the settlement was used to obtain representative data on the contaminants present. The initial results showed variable levels of contaminants, such as oils and fats (14 mg/L), thermotolerant coliforms (123 NMP/100 mL), and total suspended solids (323 mg/L), which exceeded permissible limits in some cases, especially total suspended solids (150 mg/L). The treatment with aguaje seed activated carbon was evaluated at different doses, with the ANOVA test revealing significant differences between the groups ($p < 0.05$). The treatment with 3 grams of activated carbon was the most effective, achieving an average reduction of 71.14% in oils and fats, 49.02% in thermotolerant coliforms, 55.08% in Biochemical Oxygen Demand (BOD), and 75.43% in total suspended solids. In conclusion, the research demonstrated that the use of activated carbon from aguaje seed is an effective option for treating gray water in the San José settlement.

KEYWORDS: activated carbon, effectiveness, gray water

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
METODOLOGÍA.....	12
RESULTADOS	23
DISCUSIÓN	31
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	39
REFERENCIAS.....	41
AUTORES	47



C A P Í T U L O 1

INTRODUCCIÓN

Actualmente, con desafíos como la escasez y el mal uso del agua potable, y la disminución de las fuentes de agua dulce, el tema del agua estará en el centro de las agendas gubernamentales globales (Anaya et al., 2022). Si bien el agua es el recurso más utilizado, significativo e imprescindible en nuestro planeta, su disponibilidad disminuirá gradualmente debido a la falta de atención y reconocimiento que merece, exacerbada por el aumento poblacional y el impacto del cambio climático (Bautista-Gómez et al., 2023). Esta situación transformará la disponibilidad de agua en un desafío global que, de no abordarse mediante la sensibilización sobre la importancia de su conservación a nivel social, la implementación de políticas de gestión adecuadas y la adopción de tecnologías pertinentes para su manejo, desencadenará conflictos que amenazarán la estabilidad y el desarrollo sostenible. Por ello, será imperativo considerar al agua como un recurso vital con valor social y cultural, más allá de su consideración meramente económica, y tomar medidas para evitar el estrés hídrico y sus graves consecuencias en diversos aspectos de la sociedad (Alcudia et al., 2022).

Según la Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2018), el acceso al agua en Perú presentará una disparidad preocupante, donde dos tercios de la población residirán en áreas costeras que contarán solo con el 2% de los recursos hídricos del país. Esta escasez se agravará en regiones como Cajamarca, donde los desafíos en los servicios de saneamiento rural incluirán la falta de acceso adecuado y la calidad deficiente del agua potable, lo que expondrá a la población a riesgos para la salud pública y contribuirá a la contaminación ambiental debido a la disposición inapropiada de desechos humanos (Zamora et al., 2023). Además, la problemática se extenderá a los distritos del Alto Mayo, donde la mayoría enfrentará dificultades en el manejo y tratamiento efectivo de las aguas (Ruiz y Orbegoso, 2019). Frente a este panorama, el carbón activado emergerá como una solución prometedora en el tratamiento de aguas residuales, dada su creciente popularidad y las propiedades únicas que presentará este material (Medina y Manrique, 2018). Sin embargo, su implementación enfrentará desafíos en la infraestructura y los recursos disponibles, agravando aún más la problemática del acceso al agua limpia y segura en estas regiones.

Ante la problemática, se formula el problema general: ¿Cuál es la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises en el caserío San José, 2024? Esta investigación se justifica por conveniencia al abordar la escasez de agua limpia en el caserío San José, buscando mejorar la calidad de vida de sus habitantes y contribuir a la salud pública y el bienestar ambiental. Socialmente, se enfoca en proporcionar acceso a un recurso vital, mientras que teóricamente se apoya en la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje para tratar aguas grises, ofreciendo una solución basada en evidencia científica. Además, responde a la necesidad de soluciones prácticas en comunidades rurales. Metodológicamente, se garantiza la validez y precisión de los resultados, contribuyendo al conocimiento sobre el tratamiento de aguas grises en entornos rurales.

De esta manera se plantea el objetivo general: Evaluar la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises en el caserío San José. Y como objetivos específicos los siguientes: OE1: Evaluar los parámetros físico-químicos y biológicos iniciales en las aguas grises del caserío San José, Moyobamba 2024. OE2: Evaluar los tratamientos de aguas grises utilizando carbón activado de semilla de aguaje, midiendo los parámetros físico-químicos y biológicos correspondientes. OE3: Determinar el tratamiento más óptimo con carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes de las aguas grises del caserío San José. OE4: Determinar la eficacia del tratamiento óptimo con carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes de las aguas grises del caserío San José.

Frente a los objetivos establecidos se plantea la hipótesis alterna H_1 : El uso de carbón activado de semilla de aguaje es eficaz en el tratamiento de aguas grises del caserío San José, 2024. Asimismo, hipótesis nula H_0 : El uso de carbón activado de semilla de aguaje no es eficaz en el tratamiento de aguas grises del caserío San José, 2024.

En el contexto internacional, Zambrano y Pérez (2023) estudiaron la producción de carbón activado con cáscaras de coco para eliminar el colorante anaranjado de metilo en agua, utilizando hidróxido de potasio para su activación química. El estudio realizado evidenció que la realización de carbón activado utilizando el endocarpio de coco tiene un alto potencial para eliminar materia orgánica, como se refleja en los porcentajes de eliminación observados a concentraciones iniciales variadas, y al compararse con otros adsorbentes procedentes del mismo pionero o de procedencia comercial.

De igual manera, Cayo-Dominguez et al. (2023) estudiaron la absorción de arsénico en agua utilizando carbón activado nanoporoso extraído de sedimentos orgánicos provenientes de aguas residuales. Lo produjeron mediante activación química con $ZnCl_2$ y térmica a 650 °C. Realizaron pruebas con diferentes concentraciones de

As (III) durante 24 horas, agitando a 720 RPM y a 28 °C, manteniendo el pH en 3. El carbón activado redujo la concentración de arsénico por debajo de los niveles permitidos para agua potable, con una eficiencia de adsorción del 98.4%. Los datos se ajustaron completamente en cambiar el modelo de pseudo segundo orden y la isoterma de Freundlich.

Continuando con Yusuf et al. (2022, p. 417), quienes investigaron la capacidad de captación de ondas electromagnéticas mediante carbón activado elaborado a partir de fibra de coco, su estudio revela importantes avances en la eficiencia de este material para aplicaciones tecnológicas. Para producir el carbón activado, utilizaron un proceso de activación química con hidróxido de potasio (KOH), seguido de una etapa de carbonización en un entorno de gas inerte, lo cual permitió optimizar la estructura porosa del material, potenciando así sus propiedades de absorción. Los resultados mostraron que el carbón activado fabricado a 750 °C alcanzó una alta capacidad de absorción de ondas electromagnéticas, logrando una pérdida óptima de reflexión a una frecuencia de 10,96 GHz. Este desempeño destaca al carbón activado de fibra de coco como un material prometedor para su uso en aplicaciones de blindaje electromagnético, especialmente en la mitigación de interferencias en dispositivos electrónicos. La capacidad de absorción observada en este material puede atribuirse a su estructura microporosa y a la elevada conductividad superficial resultante del proceso de activación con KOH, que facilita la captación y disipación de energía de las ondas electromagnéticas. Este tipo de carbón activado no solo representa una alternativa eficiente y de bajo costo para el blindaje electromagnético, sino que también contribuye a la sostenibilidad, al emplear desechos de fibra de coco como materia prima. La reutilización de residuos agrícolas para producir materiales avanzados abre nuevas posibilidades en el desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, promoviendo la economía circular y el aprovechamiento de recursos naturales. Además, el estudio de Yusuf et al. sugiere que el control de la temperatura de carbonización y las condiciones de activación son factores clave para ajustar las propiedades de absorción, lo que podría permitir la personalización de este material para diversas aplicaciones industriales y tecnológicas.

Suárez y Ubillus (2022, p. 97) realizaron un estudio sobre la elaboración de carbón activado a partir del epispermo de semilla de lúcum y su eficacia en la adsorción del colorante azul de metileno, utilizado frecuentemente como contaminante modelo en investigaciones sobre tratamiento de aguas. El proceso incluyó la activación controlada del carbón, evaluando diferentes temperaturas y tiempos para determinar la combinación óptima que maximizaría su capacidad de adsorción. Los resultados mostraron que el tratamiento denominado CA0.4_600°C30', en el cual se activó el carbón a 600 °C durante 30 minutos con una relación específica de agente activante, resultó en la mayor eficacia de adsorción. Este tratamiento logró un área superficial de 648 m²/g, una característica crucial que favorece la interacción del carbón con

moléculas de contaminantes como el azul de metileno. La alta superficie específica observada en este carbón activado sugiere que el material posee una estructura porosa bien desarrollada, ideal para procesos de adsorción en tratamientos de aguas residuales. Se concluye que el epispermo de semilla de lúcuma es una fuente viable y sostenible para la producción de carbón activado. Este hallazgo no solo promueve el aprovechamiento de residuos agrícolas, sino que también ofrece una alternativa económica y ambientalmente amigable en la fabricación de materiales adsorbentes. La investigación abre nuevas posibilidades para el uso de subproductos agrícolas en aplicaciones industriales, promoviendo la economía circular y reduciendo la dependencia de materias primas convencionales para el tratamiento de efluentes. La adsorción de colorantes como el azul de metileno es un paso importante en el tratamiento de aguas, y este estudio demuestra el potencial del carbón activado de origen natural para contribuir a la gestión ambiental sostenible.

En su investigación, Guzmán et al. (2023, p. 1386) desarrollaron un proceso para producir carbón activado a partir de huesos de durazno y de aceituna, evaluando su eficacia en la adsorción de contaminantes como el cianuro, metales y compuestos orgánicos presentes en efluentes mineros. Para lograrlo, los investigadores diseñaron procedimientos de activación específicos para cada material: los huesos de durazno se trataron con una solución de ácido fosfórico al 30%, seguida de un proceso térmico a 550°C en una atmósfera controlada para optimizar la porosidad del carbón resultante. Por otro lado, los huesos de aceituna fueron activados mediante la aplicación de peróxido de hidrógeno y una solución de hidróxido de potasio al 30%, métodos que permitieron modificar sus propiedades de superficie para mejorar la eficiencia de adsorción. Posteriormente, realizaron pruebas de adsorción utilizando isothermas para medir la capacidad de estos carbones activados en capturar cianuro y otros contaminantes de los efluentes. A partir de los resultados, concluyeron que el cianuro se adsorbe de manera significativa en la superficie del carbón activado debido a la presencia de conjuntos de grupos funcionales en su estructura externa, los cuales interactúan directamente con los contaminantes, mostrando un potencial prometedor para el tratamiento de aguas residuales en contextos industriales.

En el contexto nacional, Zamora et al. (2023) investigaron la eficacia de los uso de filtros de carbón activado en sistemas de saneamiento para la purificación de agua en el campo de infiltración básico en Cajamarca. Su objetivo era mejorar la calidad del efluente tratado en estas unidades. Instalaron dos de estos filtros en La Manzanilla para simular un campo de infiltración y analizaron muestras para evaluar la concentración de sustancias en comparación con los valores límite autorizados fijados por el MINAM. Aunque se observó una mejora general en la calidad del efluente con una alta remoción de contaminantes, los coliformes termo tolerantes superaron los límites máximos permisibles en un 65%, señalando la necesidad de un mayor control en este aspecto.

Rosales y Quevedo (2019) llevaron a cabo un estudio centrado en la capacidad del carbón activado derivado de semillas de aguaje para adsorber metales pesados, específicamente plomo y cromo, en aguas contaminadas, destacando su potencial como alternativa de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de efluentes. En su investigación, utilizaron ácido fosfórico para activar el material, lo cual resultó en un adsorbente con una estructura altamente porosa, ideal para retener contaminantes. Determinaron que la cantidad óptima de carbón activado de aguaje era de 0,5 g para lograr una eliminación promedio del 80,22% de plomo y cromo, alcanzando altas eficacias en distintos niveles de concentración de estos metales. Además, al analizar la capacidad del adsorbente para cada metal individual, encontraron que se requerían 1,5 g para remover hasta un 97,14% de plomo, mientras que para el cromo, con solo 0,25 g, se lograba una eliminación del 72%. Estos resultados subrayan la versatilidad y efectividad de este material en la remoción de metales pesados, sugiriendo su viabilidad para mejorar la calidad del agua en áreas afectadas por la contaminación industrial.

Por su parte, Calderón et al. (2024, p. 55) dirigieron sus esfuerzos hacia la optimización de la capacidad de adsorción del carbón activado, examinando métodos que maximizan la superficie activa del material para incrementar su eficacia en el tratamiento de aguas contaminadas. En su estudio, emplearon activadores químicos como el hidróxido de sodio y el ácido fosfórico, probando diversas temperaturas para identificar las condiciones más eficientes. Descubrieron que el uso de residuos de café como materia prima permite producir carbón activado mediante un solo proceso de calentamiento y activación química, lo cual representa un avance significativo en términos de eficiencia operativa. Este enfoque no solo reduce el tiempo y los costos asociados a la producción del carbón activado, sino que también incrementa su área superficial y, por ende, su capacidad de adsorción. Los mejores resultados se lograron con la activación ácida a altas temperaturas, lo que favoreció la creación de una estructura porosa de gran volumen que maximiza la retención de contaminantes. Esta técnica, que aprovecha residuos agrícolas y minimiza el consumo de energía, ofrece un método rentable y eficaz para producir carbón activado de alta calidad, ideal para su aplicación en procesos de remediación ambiental.

En el ámbito local, Bitón y Gonzáles (2020) analizaron la eficiencia del carbón activado derivado de semillas de aguaje y eucalipto para purificar agua contaminada con plomo. En sus resultados, observaron que el carbón activado de semillas de aguaje mostró una mayor capacidad de adsorción de plomo (74.80 mg/g) en comparación con el obtenido de semillas de eucalipto (49.94 mg/g). Sin embargo, el carbón de eucalipto logró una eliminación más alta de plomo (99.88%) frente al de aguaje (70.13%), sugiriendo que, aunque el aguaje tiene una mejor capacidad de adsorción, el eucalipto podría ser más efectivo en la remoción total de este metal. Concluyeron

que factores como la composición del material, la temperatura de activación y el pH del agua influyen en la capacidad de adsorción y eliminación, destacando la importancia de optimizar las condiciones de activación para cada tipo de carbón activado según el contaminante y el medio.

Por su parte, Ruiz y Orbegoso (2019) estudiaron la eficacia del carbón activado derivado del endocarpio de coco y de la semilla de aguaje para reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en efluentes domésticos en Moyobamba. Para la activación, emplearon ácido fosfórico al 85% y variaron la temperatura de carbonización (500°C, 600°C y 700°C) en intervalos de 30 minutos para cada materia prima. Los resultados mostraron que el carbón de endocarpio de coco alcanzó eficiencias de eliminación de DBO5 del 97.69%, 100.00%, y 97.69% respectivamente, mientras que el de semilla de aguaje obtuvo tasas del 100.00%, 90.77% y 95.38% para esas mismas temperaturas. La máxima eficiencia se logró a 600°C para el endocarpio de coco y a 500°C para la semilla de aguaje, indicando que la temperatura de carbonización es crucial para maximizar el rendimiento en función de cada material.

Finalmente, Valenzuela y Torres (2020, p. 1) en su estudio sobre las propiedades fisicoquímicas del carbón activado, examinaron factores como el pH y la capacidad de adsorción, hallando que el material es especialmente eficaz en la adsorción de colorantes en un medio iónico. Estos hallazgos subrayan la viabilidad del carbón activado para el tratamiento de aguas residuales contaminadas, especialmente en la eliminación de colorantes, posicionándolo como una alternativa práctica y económica para la gestión ambiental en el tratamiento de aguas.

En un estudio reciente realizado por Cedeño-Loor y Ayón-Hidalgo (2020), se exploró la viabilidad de utilizar filtros biológicos con carbón activado para la depuración de aguas grises, una alternativa innovadora en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los resultados del estudio revelaron una discrepancia significativa en la eficacia de los tratamientos que empleaban carbón activado en comparación con aquellos que solo utilizaban residuos orgánicos. Específicamente, se demostró que la combinación de filtros biológicos con carbón activado fue considerablemente más efectiva en la remoción de contaminantes, logrando una mayor calidad del agua tratada. Este hallazgo subraya el potencial prometedor del carbón activado como un componente esencial en sistemas de tratamiento de aguas grises, ya que mejora de manera notable la eficiencia del proceso de purificación en comparación con métodos que no incluyen este adsorbente. El carbón activado no solo facilita la eliminación de partículas y compuestos orgánicos presentes en las aguas grises, sino que también contribuye a reducir olores y a mejorar el color y la claridad del agua tratada. Además, el estudio destaca la relevancia de implementar tecnologías accesibles y efectivas para el tratamiento de aguas grises en contextos donde el acceso a sistemas de tratamiento avanzados puede ser limitado. La combinación de filtros

biológicos y carbón activado ofrece una solución viable y de bajo costo, que podría aplicarse tanto en entornos urbanos como rurales. Este enfoque no solo contribuye a la sostenibilidad mediante la reutilización del agua en actividades secundarias, sino que también permite una administración más duradera de los recursos acuíferos, aliviando la presión sobre el uso de agua potable en aplicaciones no esenciales. En conjunto, estos resultados ofrecen perspectivas alentadoras para la incorporación de filtros con carbón activado en el tratamiento de aguas residuales domésticas, impulsando la adopción de tecnologías que promuevan una gestión responsable y sostenible del recurso hídrico.

Así como también, Hernández y Chaparro (2020) en su investigación determinaron la purificación mediante carbón activado y la esterilización mediante energía solar eran los métodos más efectivos para eliminar contaminantes, ofreciendo una opción prometedora para abordar el estrés hídrico y los problemas de salud pública. Este hallazgo respalda la importancia de desarrollar tecnologías accesibles y sostenibles para garantizar la disponibilidad de agua segura, promoviendo así el bienestar comunitario y la conservación de recursos naturales.

Respecto a los conceptos que sostienen las variables de estudio. Sobre la variable carbón activado de la semilla de aguaje exhibe una eficaz habilidad para eliminar metales pesados del ambiente, además, su extraordinaria capacidad de adsorción lo posiciona como un recurso valioso en la purificación de aguas contaminadas, contribuyendo así a la preservación del ecosistema acuático (Sun et al. 2014). Mientras que, para Salas et al. (2021) este es un material versátil que puede controlar y eliminar una amplia variedad de contaminantes del aire, incluyendo más de 150 millones de productos químicos, y se utiliza en filtros para eliminar compuestos orgánicos volátiles (COV) y otros contaminantes.

La producción de carbón activado a partir de biomasa emerge como una alternativa sostenible que no solo aborda la gestión de desechos, sino que también promueve la protección del entorno natural al convertir residuos en materiales útiles para la descontaminación (Flores et al., 2023). Este método ofrece una solución concreta para el manejo eficiente de residuos orgánicos y contribuye a la reducción de contaminantes, fomentando prácticas más ecológicas y sustentables en la industria. La transformación de estos desechos en carbón activado representa una estrategia de economía circular, mitigando el impacto ambiental y valorizando materiales que de otro modo serían desperdiciados.

Por otro lado, La Rosa et al. (2022) resaltan la notable eficacia del carbón activado derivado de cáscaras de naranja recicladas para la eliminación de iones de cadmio (Cd(II)) en aguas contaminadas, lo cual subraya el potencial de este material en procesos de purificación de agua. Este carbón activado, obtenido a

partir de residuos agrícolas, no solo presenta una alta capacidad de adsorción de metales pesados, sino que también es un ejemplo de economía circular, al reutilizar desechos orgánicos de la industria agroalimentaria para producir un recurso valioso en el tratamiento de aguas. El estudio de La Rosa et al. sugiere que el proceso de adsorción de Cd(II) sigue un modelo cinético de orden pseudo-primer, lo que implica una rápida captura y retención de iones de cadmio en la superficie del material, haciéndolo particularmente eficaz para la remoción de metales pesados en sistemas de tratamiento de agua. Esta característica es clave, ya que permite que el proceso de adsorción se lleve a cabo en un tiempo corto, optimizando así la eficiencia del tratamiento. La aplicación de este tipo de adsorbente no solo responde a la creciente necesidad de soluciones efectivas y económicas para la purificación de aguas contaminadas, sino que también contribuye a la sostenibilidad al transformar residuos agrícolas en productos útiles para el medio ambiente. Además, el uso de cáscaras de naranja recicladas como base para el carbón activado representa una alternativa viable y de bajo costo en comparación con adsorbentes tradicionales, lo cual es especialmente relevante en comunidades con recursos limitados. Este enfoque no solo impulsa el desarrollo de tecnologías más sostenibles en el sector del tratamiento de aguas, sino que también fomenta la reducción de desechos agrícolas, promoviendo una economía más ecológica y eficiente. Así, el uso de adsorbentes derivados de biomasa residual contribuye no solo a la mejora de la calidad del agua, sino también al aprovechamiento de recursos naturales y al fortalecimiento de prácticas ambientales sostenibles..

En relación con el aguaje, Rosales y Quevedo (2019), citando a Velazco (2010), destacan el valor económico y cultural de este fruto en la región de Loreto, especialmente en la ciudad de Iquitos, donde su consumo alcanza cifras significativas. Mensualmente, se consumen más de 150 toneladas de aguaje, con aproximadamente la mitad destinada a la producción de helados y otros productos en establecimientos comerciales, mientras que el resto se utiliza de forma directa o en la preparación de bebidas refrescantes. Este alto consumo refleja la importancia del aguaje en la economía local y su versatilidad como recurso, además de subrayar su potencial para el desarrollo de subproductos útiles en otras áreas, como la fabricación de carbón activado.

López et al. (2021) subrayan que la creciente escasez de agua a nivel mundial ha intensificado los esfuerzos para buscar alternativas de tratamiento que aseguren la disponibilidad de este recurso vital. Entre las opciones más destacadas se encuentran las tecnologías de oxidación avanzada, que, al generar radicales hidroxilo de alta reactividad, pueden descomponer compuestos orgánicos e inorgánicos complejos en aguas grises, logrando transformaciones significativas en su estructura química. Estas tecnologías no solo mejoran la calidad del agua para su posible reutilización,

sino que también minimizan los riesgos ambientales al reducir la presencia de sustancias tóxicas. Gutiérrez et al. (2021), al evaluar el impacto de estas técnicas, subrayan que su aplicación ha resultado en avances concretos hacia la excelencia en la calidad del agua tratada, lo cual contribuye a la protección de los ecosistemas y al desarrollo de prácticas sostenibles de gestión hídrica. Estos avances son un reflejo del progreso científico y tecnológico en el tratamiento de aguas residuales, evidenciando una mejora en los estándares ambientales y en las estrategias para enfrentar la crisis hídrica.

En otro ámbito, Díaz et al. (2022) destacan el diseño y desarrollo de un sistema automatizado para la reutilización de aguas grises provenientes de lavadoras, una solución innovadora y efectiva para la conservación de agua en el entorno doméstico. Este sistema permite que las aguas residuales de uso doméstico puedan ser recicladas y aprovechadas en diversas tareas, como el riego de jardines, el mantenimiento de áreas verdes y la limpieza de exteriores, reduciendo así la presión sobre el consumo de agua potable en los hogares y contribuyendo a una disminución en la huella hídrica doméstica. Este tipo de tecnología de reutilización de aguas grises ofrece un enfoque sostenible al transformar el agua de desecho en un recurso aprovechable, incentivando una cultura de ahorro y reutilización que fomenta la preservación de este recurso escaso. Al facilitar que los hogares puedan reciclar el agua de manera sencilla y eficiente, estos sistemas no solo benefician al medio ambiente, sino que también promueven un cambio de comportamiento en los usuarios, quienes desarrollan prácticas más conscientes y responsables con el consumo de agua. La implementación de estos sistemas automatizados representa un impacto positivo en la economía doméstica, ya que reduce el costo asociado con el uso de agua potable para actividades que no requieren estándares de agua limpia. Al mismo tiempo, contribuye a la sostenibilidad ambiental mediante la reducción de la demanda de agua limpia y la minimización del desperdicio. Además, esta tecnología podría aplicarse en sectores de mayor escala, como en comunidades residenciales o en instalaciones públicas, ampliando el impacto de conservación y optimización del uso del agua en el ámbito urbano y suburbano.

Por su parte, Jaco et al. (2022, p. 3) analizan las características químicas y microbiológicas de las aguas grises, destacando que poseen concentraciones de nutrientes considerablemente menores en comparación con las aguas negras. Según sus hallazgos, estas aguas contienen apenas el 10% de nitrógeno, el 21% de potasio y el 26% de fósforo respecto a la totalidad de aguas residuales producidas en un hogar. Esto indica que, aunque las aguas grises representan un recurso aprovechable, sus bajos niveles de nutrientes pueden influir en las posibilidades de reutilización agrícola directa sin tratamiento adicional. En cuanto a la presencia de patógenos, las aguas grises muestran niveles reducidos; sin embargo, advierten que en algunos

casos, la proliferación de bacterias indicadoras podría sobreestimar la carga fecal, especialmente en entornos donde ciertas condiciones favorecen su crecimiento. Esta información es fundamental para evaluar la seguridad y viabilidad de usar aguas grises en aplicaciones específicas, resaltando la necesidad de monitoreo adecuado y control para evitar riesgos de contaminación.

Finalmente, Azabache et al. (2020) abordan la importancia de la preservación del agua, enfatizando que este recurso natural es fundamental tanto para el equilibrio ecológico como para la supervivencia de las especies en el planeta, incluyendo la humana. Resaltan que el agua desempeña un rol multifuncional en actividades esenciales como la hidratación, la limpieza, la preparación de alimentos y el riego de cultivos, lo cual subraya su valor en diversos aspectos de la vida cotidiana y en la salud de los ecosistemas. A nivel global, el uso responsable del agua es crucial para enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático y la escasez de recursos hídricos. La investigación de Azabache et al. también pone en relieve la conexión entre la disponibilidad de agua y el bienestar de la sociedad, abogando por políticas de conservación y gestión que aseguren su sostenibilidad para las futuras generaciones.

Por otro lado, la producción de agua gris en una residencia puede experimentar amplias fluctuaciones según el estándar de vida, la composición demográfica, la edad y el género de los habitantes, así como también en función del tamaño del hogar, la disponibilidad de recursos hídricos, el tipo de productos empleados, el clima y otros factores relevantes. Es crucial comprender cómo estos elementos influyen en la generación de este tipo de agua residual para implementar medidas efectivas de gestión y conservación del recurso hídrico (Díaz et al. 2021).

Las aguas residuales domésticas comprenden aquellas que se generan después de su uso en hogares, áreas comerciales y oficinas. Estas aguas suelen contener residuos de productos de limpieza y mantenimiento de espacios, así como restos de productos de higiene personal. Por su composición y origen, las aguas residuales domésticas se clasifican en dos categorías principales: aguas grises y aguas negras (Manzollilo, 2020). Las aguas grises incluyen los desechos que provienen de actividades domésticas diarias, como el lavado de ropa, el lavado de platos y la limpieza de áreas internas del hogar. Estas aguas suelen estar menos contaminadas que las aguas negras y, con el tratamiento adecuado, pueden reutilizarse en aplicaciones como el riego de jardines, la descarga de inodoros y la limpieza de exteriores. Al contener una menor carga de materia orgánica y sustancias potencialmente patógenas, las aguas grises ofrecen una oportunidad viable para sistemas de reciclaje y reutilización, lo cual contribuye a reducir el consumo de agua potable en actividades que no requieren estándares de calidad tan altos. Por otro lado, las aguas negras contienen altos niveles de materia orgánica, grasas, aceites y desechos corporales, como heces y orina. Debido a su elevada carga contaminante, estas requieren un tratamiento

más exhaustivo antes de su posible reutilización o vertido seguro en el ambiente. La separación y adecuado manejo de estos tipos de aguas residuales es fundamental en la gestión de recursos hídricos, ya que permite aprovechar de manera sostenible las aguas grises, al tiempo que se evita la contaminación y se promueve la salud pública mediante el tratamiento adecuado de las aguas negras.

Finalmente, Vélez y Vázquez (2020) mencionan que en la industria del tratamiento de aguas residuales, los coagulantes orgánicos han ganado considerable popularidad debido a su notable eficacia, caracterizada por requerir dosis mínimas en comparación con los coagulantes inorgánicos tradicionales. Estos coagulantes orgánicos no solo permiten una reducción en la cantidad de producto necesario, sino que también minimizan la producción de lodos residuales, lo cual contribuye a una gestión de residuos más eficiente y menos costosa en las plantas de tratamiento. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, muchos procesos de tratamiento convencionales continúan empleando sales de metales multivalentes, debido principalmente a su asequibilidad y facilidad de uso. Estas sales, como las de aluminio y hierro, son opciones comunes por su efectividad comprobada en la coagulación y floculación de partículas en suspensión. Sin embargo, el uso de coagulantes inorgánicos conlleva ciertos inconvenientes; entre ellos, el aumento de la concentración de metales en el agua tratada, lo cual puede afectar su calidad y su cumplimiento con normativas ambientales más estrictas.

Este incremento de metales en las aguas tratadas puede plantear desafíos adicionales, especialmente en sistemas que buscan no solo reducir la carga contaminante, sino también mejorar la calidad del agua para su posible reutilización. Por lo tanto, es fundamental encontrar un equilibrio entre la eficiencia en la remoción de contaminantes y el impacto ambiental de los productos utilizados en el tratamiento, con el objetivo de lograr una gestión sostenible de las aguas residuales. Para asegurar la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de tratamiento, es necesario continuar investigando y desarrollando alternativas que combinen la eficacia de los coagulantes orgánicos con la asequibilidad y simplicidad de los sistemas tradicionales. Esto permitirá reducir los impactos ambientales asociados y garantizar que los sistemas de tratamiento de aguas residuales sigan siendo viables y respetuosos con el medio ambiente en el futuro.



C A P Í T U L O 2

METODOLOGÍA

De acuerdo con OCDE (2018), la investigación realizada es de tipo aplicada, ya que su propósito principal fue abordar una problemática específica de manera práctica y directa, buscando ofrecer soluciones inmediatas a través de la intervención en situaciones reales. Este tipo de investigación se caracteriza por su enfoque en la resolución de problemas concretos, lo que permite generar resultados tangibles y de corto plazo. Como señala CONCYTEC (2018), las investigaciones aplicadas están orientadas a mejorar el conocimiento y las prácticas relacionadas con la resolución de problemas actuales y relevantes, contribuyendo a la mejora de situaciones específicas en diversas áreas.

El enfoque adoptado en la investigación fue cuantitativo, dada la naturaleza numérica de los datos recolectados y la necesidad de obtener mediciones precisas y objetivas que permitieran un análisis estadístico riguroso. Este enfoque cuantitativo se orientó a evaluar de forma clara y medible la efectividad del tratamiento con carbón activado derivado de semilla de aguaje. Tal como lo plantean Rieiro et al. (2021), la investigación empleó un diseño experimental, en el que el investigador intervino y manipuló la variable independiente (el tratamiento con el carbón activado) para observar y medir los efectos en la variable dependiente (el nivel de contaminantes en el agua), con el objetivo de evaluar los cambios que se producen en el proceso.

Para llevar a cabo el estudio, se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA), que consistió en la asignación aleatoria de las condiciones experimentales a los tratamientos. En este caso, se establecieron seis tratamientos diferentes (T1: 0,5 g de carbón activado de semilla de aguaje; T2: 1,0 g; T3: 1,5 g; T4: 2,0 g; T5: 3,0 g) con el fin de determinar el impacto de diferentes concentraciones del carbón activado sobre la variable dependiente. Cada tratamiento fue repetido en dos ocasiones para asegurar la fiabilidad y validez de los resultados obtenidos. Este diseño experimental permitió evaluar de manera controlada y rigurosa los efectos de cada tratamiento, asegurando la precisión de los datos y la relevancia de los resultados obtenidos en la investigación.

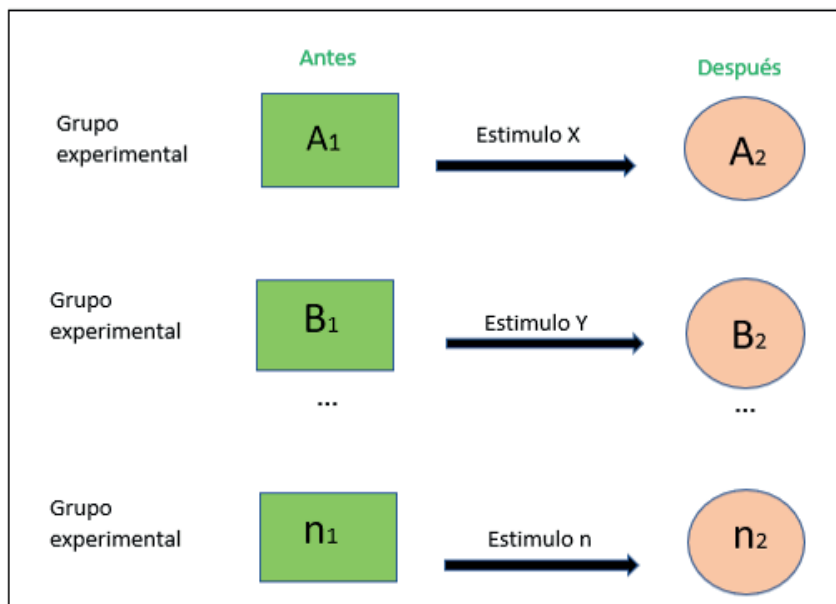


Figura 1. Diagrama del diseño de investigación.

La variable independiente en este estudio fue el carbón activado derivado de la semilla de aguaje, un material ampliamente reconocido por sus propiedades adsorbentes excepcionales. Este tipo de carbón activado se destaca por su capacidad de eliminar una variedad de contaminantes presentes en las aguas residuales, incluidas sustancias químicas peligrosas y compuestos orgánicos volátiles (COV). Además, se sabe que el carbón activado tiene la capacidad de adsorber más de 150 millones de productos químicos, lo que lo convierte en una solución efectiva en diversos procesos de purificación de agua y tratamiento de residuos líquidos. Este material es utilizado comúnmente en filtros de agua, tanto industriales como domésticos, para eliminar impurezas y mejorar la calidad del agua. En el contexto de este estudio, se utilizó la semilla de aguaje como materia prima para la producción de carbón activado. Esta semilla fue adquirida de mercados locales, lo que no solo resalta la viabilidad económica y la accesibilidad del material, sino también su sostenibilidad como recurso natural. La utilización de la semilla de aguaje en lugar de otras fuentes de carbón activado es relevante, ya que subraya la posibilidad de emplear materiales orgánicos locales, lo que contribuye a la gestión adecuada de los desechos orgánicos y puede promover el desarrollo económico de la región. Además, el uso de carbón activado derivado de fuentes naturales como la semilla de aguaje es una alternativa más ecológica y sostenible que otras formas de tratamiento de aguas residuales que podrían implicar el uso de productos químicos más contaminantes.

La variable dependiente en este estudio fue el tratamiento de aguas grises, un tipo de agua residual proveniente de actividades cotidianas en los hogares, como el lavado de ropa, la limpieza de utensilios de cocina y otras tareas domésticas. A diferencia de las aguas negras, que contienen materia orgánica descompuesta, grasas, aceites y desechos fecales y de orina, las aguas grises son relativamente más limpias, aunque todavía contienen impurezas como detergentes, restos de alimentos y productos químicos derivados de los productos de limpieza utilizados en los hogares (Manzollilo, 2020). Las aguas grises, aunque menos contaminadas, siguen siendo un recurso que debe ser tratado adecuadamente antes de ser reutilizado o liberado al medio ambiente, ya que pueden causar problemas si no se manejan adecuadamente. El tratamiento de las aguas grises es esencial para garantizar que estas no representen una amenaza para la salud pública ni para el medio ambiente. De hecho, el tratamiento adecuado puede transformar las aguas grises en un recurso valioso para su reutilización en tareas como el riego de jardines, la limpieza o incluso en procesos industriales de bajo riesgo. Este tratamiento, que involucra la eliminación de contaminantes presentes en las aguas grises, es fundamental para promover prácticas sostenibles de gestión de recursos hídricos y mejorar la calidad del agua disponible para las comunidades.

El grupo de participantes en este estudio estuvo compuesto por los habitantes del caserío de San José, quienes generaron las aguas grises que fueron objeto de análisis y tratamiento en el marco de la investigación. Según Otzen y Manterola (2017), el grupo de participantes se definió de acuerdo con las características del fenómeno a investigar, es decir, el tratamiento de aguas grises generadas por las actividades diarias de los residentes de este caserío. Este grupo fue crucial para la observación y evaluación de los efectos del tratamiento con carbón activado, ya que sus hábitos y prácticas cotidianas en el uso del agua eran directamente relevantes para los resultados del estudio. A través de la participación de esta comunidad, se pudo evaluar la efectividad del tratamiento propuesto en condiciones reales, lo que permitió realizar recomendaciones prácticas sobre cómo este tipo de tecnologías podría ser implementado en otras áreas rurales o urbanas. Además, el estudio también ofreció una oportunidad para fomentar la sensibilización sobre el manejo adecuado de las aguas residuales, así como promover prácticas sostenibles de conservación y reutilización del agua en la comunidad, lo cual tiene un impacto directo en la mejora de la calidad de vida de los habitantes y en la protección del medio ambiente.

Respecto a la muestra, para Ñaupas et al. (2018), esta fue una fracción de la población elegida cuidadosamente para obtener información relevante sobre la problemática en cuestión. En este estudio, la muestra consistió en 14 litros de aguas grises, provenientes de 14 hogares diferentes del caserío de San José en el año 2024. Esta selección cuidadosa de muestras de distintos hogares permitió evaluar de manera

precisa los efectos del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises, antes y después de la intervención. Este enfoque cuantitativo y específico de la muestra facilitó la obtención de datos numéricos para verificar la hipótesis y determinar la eficacia del tratamiento propuesto, contribuyendo así a la resolución práctica de la problemática ambiental en el caserío de San José.

Para el proceso de muestreo o elección de la muestra, se utilizó un método de muestreo no probabilístico, una estrategia comúnmente adoptada en investigaciones aplicadas, ya que permite al investigador seleccionar la muestra en función de las características específicas de la población y los objetivos del estudio. Este enfoque, según Hernández (2021), implica que la muestra sea seleccionada con base en la disponibilidad y conveniencia, lo que proporciona una mayor flexibilidad y adaptabilidad para ajustarse a las necesidades prácticas de la investigación. A diferencia de los métodos probabilísticos, donde todos los elementos de la población tienen una probabilidad conocida de ser seleccionados, el muestreo no probabilístico no sigue un esquema aleatorio, sino que depende de la selección consciente del investigador. Este tipo de muestreo es especialmente útil en estudios donde el acceso a la población o la obtención de una muestra representativa de manera aleatoria resulta complicado, como en el caso de los pobladores del caserío de San José. De este modo, el investigador tiene la capacidad de seleccionar los elementos de la muestra según criterios específicos, como la accesibilidad de las viviendas o la disponibilidad de aguas grises para su análisis.

En relación con las “Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos”, estas se organizaron en función de los objetivos específicos planteados para la investigación. En el primer objetivo específico, que consistió en evaluar los parámetros físico-químicos y biológicos iniciales de las aguas grises del caserío de San José, se adoptó un procedimiento riguroso para la recolección de muestras. Se seleccionaron al azar un total de 14 viviendas, garantizando que las muestras obtenidas fueran representativas de las condiciones generales del agua residual en la zona. Las muestras fueron recolectadas en cantidad suficiente, alcanzando un total de 7 litros de agua gris, distribuidos en dos partes: 1 litro para el análisis de las condiciones iniciales y 6 litros para los tratamientos que se realizarían más adelante. Este volumen permitió asegurar que las muestras fueran representativas de la variedad de aguas grises generadas en el caserío y que, a su vez, se pudieran aplicar los tratamientos correspondientes para evaluar la efectividad del carbón activado.

Una vez recolectadas las muestras, estas fueron transportadas a un laboratorio acreditado, con certificación de calidad y credibilidad reconocida en el análisis de aguas. Los parámetros que se analizaron fueron aquellos fundamentales para comprender las características físico-químicas y biológicas de las aguas grises. Entre estos parámetros se incluyeron los AyG, CT, DBO, Ph y Sólidos Suspendidos Totales,

Cada uno de estos parámetros fue seleccionado por su relevancia en la evaluación de la calidad del agua y su impacto potencial en la salud humana y el medio ambiente. Los resultados obtenidos de estos análisis fueron organizados en tablas detalladas que permitieron un examen claro y preciso de las condiciones iniciales de las aguas grises del caserío de San José.

Con el fin de realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos, los valores de los parámetros analizados fueron contrastados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) aplicables a las aguas residuales. Este análisis no solo sirvió para evaluar la calidad del agua en el contexto local, sino también para determinar si las aguas grises del caserío cumplían con los requisitos legales y ambientales necesarios para su tratamiento y reutilización. Además, para evaluar la efectividad de los tratamientos aplicados, el procedimiento de recolección y análisis de las muestras se repitió 30 días después del primer muestreo. Este segundo muestreo permitió comparar las variaciones temporales en la calidad del agua, brindando información crucial sobre los posibles cambios producidos por el tratamiento con carbón activado. El análisis se realizó en dos muestreos consecutivos, tal como se presenta en la Figura 2, lo que facilitó la comparación de los datos obtenidos y la interpretación de la efectividad de los tratamientos aplicados a lo largo del tiempo.

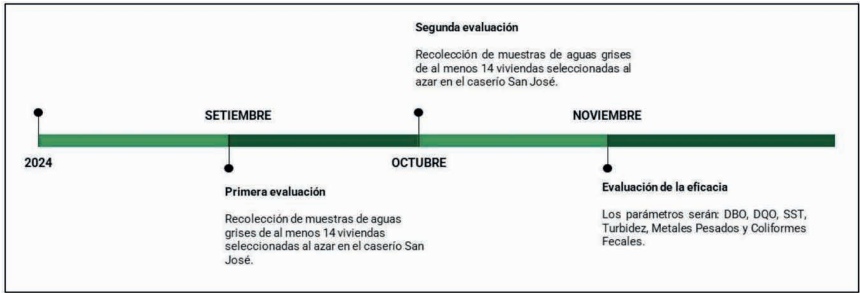


Figura 2. *Línea de tiempo del procedimiento de recolección y análisis de las muestras de aguas grises del caserío San José*

Para el objetivo específico 2, que consiste en evaluar los tratamientos de aguas grises utilizando carbón activado de semilla de aguaje, midiendo los parámetros físico-químicos y biológicos correspondientes, se comenzará con la preparación del carbón activado. Este proceso inicia con la selección y recolección de semillas de aguaje, las cuales se someterán a un tratamiento de activación, ya sea térmica o química, para convertirlas en carbón activado. El proceso de activación térmica implicará calentar las semillas en un horno a temperaturas elevadas, mientras que la activación química utilizará agentes químicos que mejorarán las propiedades

adsorbentes del carbón. Ambos métodos buscan maximizar la superficie activa del carbón, lo que le permitirá captar una mayor cantidad de contaminantes presentes en las aguas grises. La elección del método de activación dependerá de la disponibilidad de recursos y la eficacia demostrada en estudios previos, como los de Salas et al. (2021), que subrayan la capacidad del carbón activado de origen vegetal para eliminar compuestos orgánicos y metales pesados en soluciones acuosas.

Una vez obtenido el carbón activado de semilla de aguaje, se procederá a diseñar seis tratamientos diferentes con concentraciones variables de carbón activado, lo que permitirá evaluar su eficacia en el tratamiento de las aguas grises. Cada tratamiento será preparado siguiendo una metodología estricta para asegurar que las concentraciones de carbón sean precisas y reproducibles. Las concentraciones de carbón activado estarán relacionadas con los volúmenes de agua gris a tratar, asegurando que las proporciones sean adecuadas para cada tratamiento. En total, se establecerán seis tratamientos, cuyos detalles se presentan en la tabla 1. En cada uno de estos tratamientos, las aguas grises se someterán a diferentes concentraciones de carbón activado, lo que permitirá observar el impacto de cada dosis sobre los parámetros físico-químicos y biológicos del agua.

Mediante esta metodología experimental, se pretende adquirir datos esenciales acerca de la habilidad del carbón activado en semilla de aguaje para incrementar la calidad de las aguas grises, ofreciendo una opción sustentable y asequible para el tratamiento de aguas residuales. Los resultados de estos tratamientos se podrán contrastar con los estándares de calidad del agua fijados por entidades locales o internacionales, como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), con el fin de determinar si los tratamientos con carbón activado satisfacen las condiciones para el reutilizado o liberación segura de las aguas tratadas al entorno.

Se analizaron parámetros como AyG, CT, DBO, Ph y Sólidos Suspendidos Totales, estos parámetros son esenciales para establecer el nivel de purificación y desinfección logrado por el tratamiento, y facilitarán la comparación de la eficacia de los distintos niveles de carbón activado. Adicionalmente, se llevarán a cabo mediciones a través del tiempo para verificar si los tratamientos siguen siendo eficaces en la erradicación de contaminantes, además de detectar cualquier variación en las propiedades del agua.

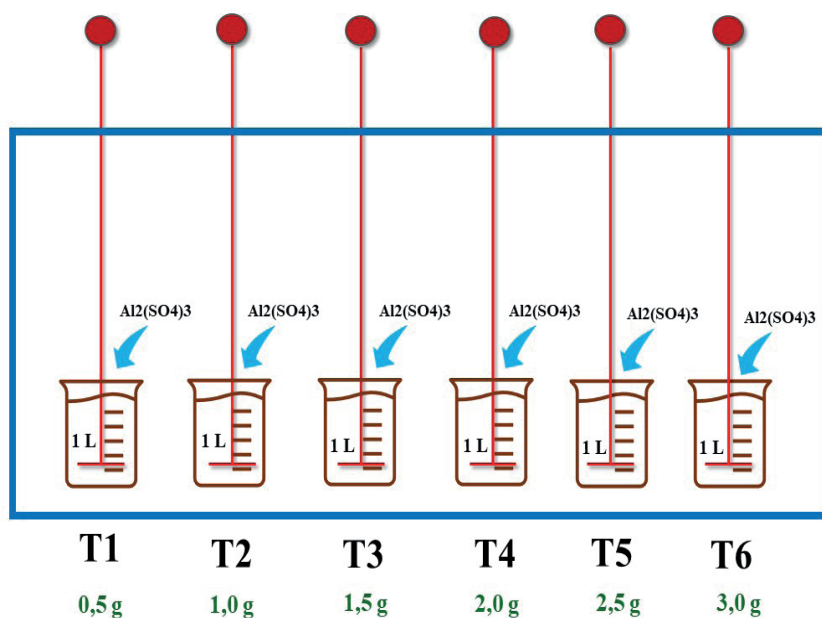
Tratamientos	Dosis de carbón activado de semilla de aguaje
T ₁	0,5 g
T ₂	1,0 g
T ₃	1,5 g
T ₄	2,0 g
T ₅	2,5 g
T ₆	3,0 g

Tabla 1. *Tratamientos de la investigación*

Para la evaluación de la efectividad de los tratamientos, se realizaron pruebas de jarra utilizando seis floculadores, con un volumen de 1 litro de agua gris en cada uno. Este procedimiento se diseñó para simular el tratamiento de aguas a escala de laboratorio, permitiendo observar y comparar los efectos de diferentes dosis de carbón activado de semilla de aguaje en las propiedades físico-químicas y biológicas del agua gris. A cada recipiente se le añadió una dosis fija de sulfato de aluminio, un floculante comúnmente utilizado para mejorar la coagulación y la eliminación de sólidos suspendidos en el agua. El sulfato de aluminio ayuda a agrupar las partículas finas presentes en el agua gris, facilitando su posterior eliminación durante el proceso de sedimentación.

En cada uno de los seis floculadores, la dosis de carbón activado varió según lo previamente establecido en los tratamientos (Figura 3). Las concentraciones de carbón activado fueron ajustadas en función de los objetivos del estudio, con el fin de determinar la cantidad óptima que podría maximizar la capacidad de adsorción de contaminantes presentes en las aguas grises. Estas dosis estuvieron diseñadas para evaluar su impacto en la reducción de los parámetros de contaminación, como la DBO, DQO, SST, turbidez, metales pesados y coliformes fecales. Tras la adición de los reactivos, cada muestra fue agitada a diferentes velocidades y durante un tiempo determinado, permitiendo que el carbón activado adsorba los contaminantes presentes en el agua. Posteriormente, las muestras fueron dejadas reposar durante un periodo de sedimentación para permitir la separación de los sólidos floculados. El agua tratada fue cuidadosamente extraída de cada floculador y enviada a un laboratorio acreditado para su análisis.

Los parámetros físico-químicos y biológicos que se midieron en las muestras fueron los mismos que se utilizaron en el Objetivo Específico 1, permitiendo una comparación directa de los resultados previos y posteriores al tratamiento. Estos análisis fueron fundamentales para evaluar la efectividad de cada tratamiento con carbón activado, comparando la mejora de la calidad del agua en relación con los estándares de calidad establecidos por las autoridades ambientales. Los resultados obtenidos de este proceso proporcionaron datos clave sobre el impacto del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises, ayudando a determinar las dosis más efectivas para la remoción de contaminantes en este tipo de agua residual.



Finalmente, para el objetivo específico 3, que consistió en determinar la eficacia del tratamiento óptimo con carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes de las aguas grises del caserío San José, se procedió de la siguiente manera: la eficiencia de cada tratamiento se calculó utilizando la fórmula de eficiencia, que se expresa de la siguiente forma:

Este cálculo permite evaluar de manera cuantitativa la reducción de contaminantes en las aguas grises tratadas, permitiendo una comparación objetiva entre los diferentes tratamientos aplicados. La eficiencia de eliminación de contaminantes se basó en los parámetros físico-químicos y biológicos previamente establecidos (DBO, DQO, SST, turbidez, metales pesados y coliformes fecales).

El tratamiento óptimo se identificó como el que presentó la mayor eficiencia en la reducción de contaminantes, y su eficacia se contrastó con los valores obtenidos en el primer muestreo (pre-tratamiento). Este análisis permitió no solo determinar el tratamiento más eficaz, sino también establecer recomendaciones sobre la viabilidad de utilizar carbón activado de semilla de aguaje como una opción para el tratamiento de aguas grises en comunidades rurales como el caserío de San José.

Además, los resultados de la eficiencia del tratamiento fueron analizados en función de los estándares de calidad del agua establecidos por las autoridades competentes, como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), para evaluar si el tratamiento con carbón activado logró cumplir con los requisitos para la reutilización del agua o su liberación segura al medio ambiente. Este enfoque permitió obtener datos relevantes sobre la aplicabilidad de este tratamiento a nivel local, contribuyendo al diseño de soluciones sostenibles y económicas para la gestión de aguas residuales.

$$Eficacia = \frac{\text{Resultado final} - \text{Resultado inicial}}{\text{Resultado inicial}} * 100\%$$

Figura 3. Diagrama de la distribución de los tratamientos en la prueba de jarras.

Esta fórmula ya fue utilizada por Portugal (2023 p. 45) por ende muestra confiabilidad y consistencia en los resultados que se obtengan.

Los resultados se organizaron en tablas especializadas para facilitar su análisis. Posteriormente, se aplicó una prueba de normalidad para determinar la distribución de la información. Dependiendo de los resultados de la prueba de normalidad, se realizó un ANOVA paramétrico o no paramétrico para evaluar las variaciones significativas entre los diferentes tratamientos. Luego, se aplicó la prueba de Tukey para identificar cuál tratamiento fue significativamente más efectivo. Finalmente, se identificó el tratamiento con la mayor eficacia y mejores resultados estadísticos como el tratamiento óptimo para la aplicación a gran escala.

En cuanto a los métodos para el análisis de datos, estos se diseñaron de acuerdo con los objetivos de la investigación. Para el Objetivo Específico 1, los datos recopilados a partir de los análisis de laboratorio se presentaran en tablas comparativas y se utilizaron gráficos para visualizar las diferencias entre los parámetros iniciales y los LMP de aguas residuales. Los resultados se analizaron descriptivamente para identificar niveles de contaminación y posibles riesgos ambientales y de salud.

Para el objetivo Específico 2, los resultados de los tratamientos se analizaron para determinar la eficacia de cada concentración de carbón activado. Se emplearon gráficos comparativos y tablas para presentar los datos de cada tratamiento, y los resultados de laboratorio se utilizaron para evaluar la reducción de contaminantes en cada muestra tratada.

Para el Objetivo Específico 3, se calculó la eficiencia de cada tratamiento utilizando la fórmula de eficiencia mencionada. Los datos se organizaron en tablas, y se realizaron análisis estadísticos (prueba de normalidad, ANOVA y prueba de medias de Tukey; Figura 4). Se determinó el tratamiento óptimo en función de la mayor eficiencia y significancia estadística, identificando la cantidad de carbón activado de semilla de aguaje más efectiva.

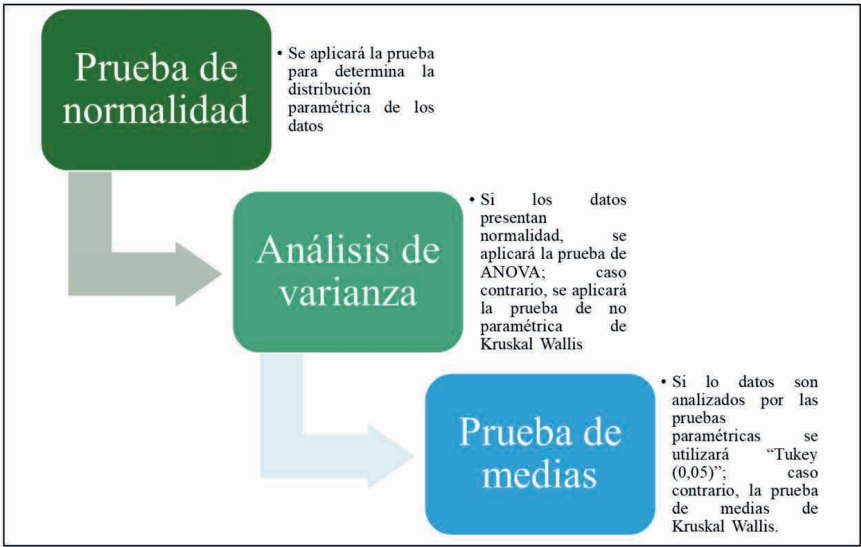


Figura 4. Diagrama del procedimiento de pruebas estadísticas.

Finalmente, en cuanto a las consideraciones éticas, este estudio se enmarcó en el código de ética de la Universidad César Vallejo, en el cual se citaron a los autores de acuerdo con las Normas ISO. Asimismo, en la investigación se aplicaron ciertos principios de la ética:

En el marco de la investigación sobre la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises en el caserío San José en el año 2024, se promovieron y cumplieron diversos valores éticos fundamentales. Uno de ellos fue el principio de beneficencia, que se materializó en el objetivo central de optimizar la calidad de vida de la comunidad local. Al implementar este tratamiento para las aguas grises, se buscó proporcionar un entorno más saludable para los residentes del caserío, reduciendo así los peligros asociados con la contaminación del agua y promoviendo su bienestar general.

Asimismo, se priorizó el principio de no causar daño en el desarrollo de la investigación, lo cual implicó la adopción de medidas cautelares para garantizar que el uso del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises no conllevara riesgos ni daños para la salud humana ni para el medio ambiente.

Por último, se buscó garantizar la justicia en todas las etapas de la investigación al elegir una muestra representativa de la población del caserío San José para participar en el estudio, asegurando que todos tuvieran la oportunidad de contribuir y beneficiarse de los resultados de la investigación sin discriminación alguna.



CAPÍTULO 3

RESULTADOS

Tabla 1. Composición del carbón activado

Producto	Semilla de aguaje (%)	Semilla de aguaje (gr)	Composición		Observación
			Agente activante (%)	Agente activante (gr)	
Muestra 1	90 %	900	10%	100	Ninguna
Muestra 2	85%	850	15%	150	Ninguna
Muestra 3	80%	800	20%	200	Ninguna
Muestra 4	75%	750	25%	250	Ninguna
Muestra 5	70%	700	30%	300	Ninguna

Interpretación:

La Tabla 1 muestra la composición de carbón activado elaborado a partir de semillas de aguaje, en cinco muestras con distintas proporciones de semilla y agente activante. Las muestras varían en contenido de semilla de aguaje desde un 90 % en la Muestra 1 hasta un 70 % en la Muestra 5, con una reducción progresiva del componente de semilla conforme aumenta la cantidad de agente activante. Así, la cantidad de agente activante incrementa desde el 10 % en la Muestra 1 hasta el 30 % en la Muestra 5, lo que sugiere una estrategia de ajuste en la composición para estudiar el impacto de la activación en las propiedades del carbón activado, sin ninguna observación adicional señalada para las muestras.

Tabla 2. Proceso de producción de carbón activado

Producto	Proceso de producción del carbón activado			Observación
	Tiempo de carbonización (h)	Tiempo de activación (min u h)	Tiempo de enfriamiento (min u h)	
Muestra seleccionada con mayor capacidad de adsorción	1 hora	24 horas	12 horas	Ninguno

Interpretación:

La Tabla 2 describe el proceso de producción de carbón activado para la muestra seleccionada por su mayor capacidad de adsorción. Este proceso implica una carbonización de 1 hora, seguida de un período de activación de 24 horas y, finalmente, un enfriamiento durante 12 horas. No se registran observaciones adicionales, lo que sugiere que las circunstancias establecidas son apropiadas para maximizar la capacidad de adsorción del carbón activado producido.

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del agua

Estaciones de muestreo seleccionadas con mayor cumplimiento de los parámetros	Tratamiento		
	Parámetros	LMP	Unidad
14	Aceites y grasas	20	mg/L
123	Coliformes Termotolerantes	10000	NMP/100 mL
45	Demanda Bioquímica de Oxígeno	100	mg/L
32	Demanda Biológica de oxígeno	200	mg/L
7.34	pH	6.5 – 8.5	Unidad
323	Sólidos Suspendidos Totales	150	mg/L
1	N° Parámetros que no cumplen		
1	N° Total parámetros a evaluar		
1	N° Datos que no cumplen los ECAS		
6	N° Total de datos		

Interpretación:

La Tabla 3 muestra los parámetros fisicoquímicos del agua en puntos de muestreo con alto cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECAS). Entre los parámetros monitoreados están aceites y grasas (máximo 20 mg/L), coliformes termotolerantes (máximo 10,000 NMP/100 mL), demanda bioquímica y biológica de oxígeno (100 y 200 mg/L, respectivamente), pH (rango de 6.5 a 8.5 unidades) y sólidos suspendidos totales (máximo 150 mg/L). Los resultados muestran que solo un parámetro no cumple con el LMP o los ECAS, en un total de seis datos evaluados, lo que indica un buen nivel de cumplimiento en general en las estaciones seleccionadas.

Tabla 4. Correlación de Spearman entre parámetro, tratamiento y resultados

Correlaciones				
Rho de Spearman	resultados	Tratamiento	parámetro	
	Coefficiente de correlación	1,000	-,262*	,209
	Sig. (bilateral)	.	,026	,078
	N	72	72	72
	Tratamiento	Coefficiente de correlación	-,262*	1,000
		Sig. (bilateral)	,026	.
		N	72	72
	parámetro	Coefficiente de correlación	,209	,000
		Sig. (bilateral)	,078	1,000
		N	72	72

Interpretación:

Los resultados de la correlación de Spearman entre los parámetros, el tratamiento y los resultados revelan lo siguiente: existe una correlación negativa moderada y significativa entre el tratamiento y los resultados, con un coeficiente de correlación de -0.262 ($p = 0.026$). Esto indica que a medida que se incrementa el tratamiento, los resultados tienden a disminuir, sugiriendo que el tratamiento podría tener un efecto desfavorable en este contexto. En contraste, la correlación entre los resultados y el parámetro es de 0.209, con un valor de p de 0.078, lo que indica que esta relación no es estadísticamente significativa al nivel del 0.05. Por último, la correlación entre el tratamiento y el parámetro muestra un coeficiente de 0.000, también sin significancia. En resumen, solo la relación entre el tratamiento y los resultados es estadísticamente significativa, lo que implica que se debe considerar cuidadosamente el impacto del tratamiento en los resultados evaluados.

Tabla 5. Parámetros físico-químicos y biológicos iniciales en las aguas grises del caserío San José, Moyobamba 2024

Parámetro	Unidad	Resultado	Límite permisible referencial ⁽¹⁾
Aceites y grasas	mg/L	14	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	123	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	45	100
Demanda Biológica de oxígeno	mg/L	32	200
pH	Unidad	7.34	6.5 – 8.5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	323	150
1. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales			

Fuente. Datos extraídos del ensayo de laboratorio

Interpretación:

La Tabla 1 presenta los parámetros físico-químicos y biológicas iniciales de las aguas grises del caserío San José en Moyobamba durante el año 2024. Los resultados indican que la concentración de aceites y grasas es de 14 mg/L, lo que está por debajo del límite permisible de 20 mg/L, lo que sugiere un manejo adecuado de este contaminante. Sin embargo, el recuento de coliformes termo tolerantes es de 123 NMP/100 mL, lo que se mantiene dentro del límite permisible de 10,000 NMP/100 mL, indicando una calidad microbiológica aceptable. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es de 45 mg/L, que también se sitúa por debajo del límite de 100 mg/L, lo que sugiere una carga orgánica controlada. En contraste, la demanda biológica de oxígeno (DBO) muestra un resultado de 32 mg/L, por debajo del límite permitido de 200 mg/L, lo que indica un buen estado del agua en términos de degradación de materia orgánica. El pH, con un valor de 7.34, se encuentra dentro del rango aceptable de 6.5 a 8.5, lo que es favorable para la vida acuática. No obstante, los sólidos suspendidos totales son alarmantes, alcanzando 323 mg/L, superando significativamente el límite permisible de 150 mg/L, lo que sugiere una turbidez considerable y un potencial riesgo para la salud ambiental.

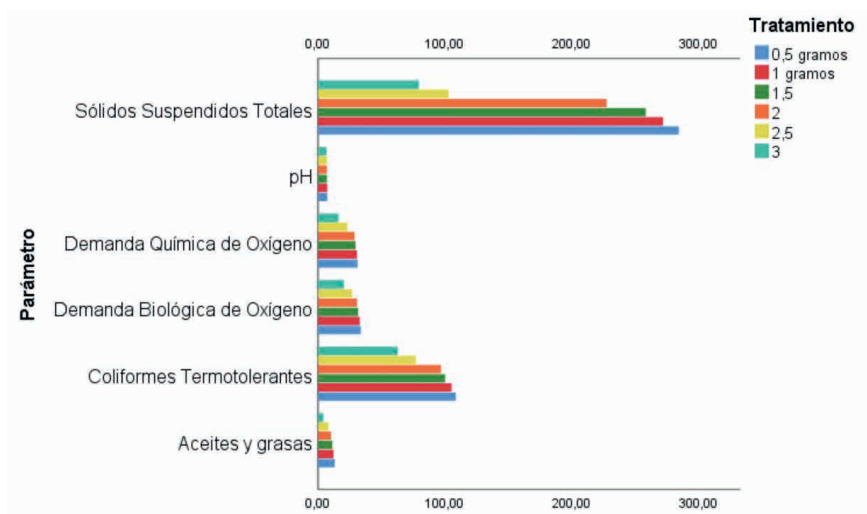


Figura 5. Evaluación de los tratamientos de aguas grises utilizando carbón activado de semilla de aguaje, midiendo los parámetros físico-químicos y biológicos correspondientes

Interpretación:

El gráfico muestra cómo diferentes cantidades de tratamiento (de 0.5 a 3 gramos) afectan parámetros clave en muestras de agua o suelo, incluyendo Sólidos Suspendidos Totales, pH, Demanda Química y Biológica de Oxígeno, Coliformes Termotolerantes, y Aceites y grasas. Los Sólidos Suspendidos Totales presentan valores altos, con medias que oscilan entre aproximadamente 225 mg/L (para el tratamiento de 0.5 gramos) y 275 mg/L (para 2 gramos), con una disminución leve en los tratamientos de mayor dosificación. El pH se mantiene relativamente constante cerca de 7 en todos los tratamientos, sin variaciones notables. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) disminuyen con mayores dosis, observándose valores promedio desde cerca de 50 mg/L hasta menos de 30 mg/L para la DQO y de 35 mg/L a menos de 20 mg/L para la DBO. Los Coliformes Termotolerantes también muestran una disminución progresiva, con valores medios desde alrededor de 100 NMP/100 mL en tratamientos bajos hasta menos de 60 NMP/100 mL en dosis de 3 gramos, indicando mejoras en la calidad microbiológica. Finalmente, los niveles de Aceites y grasas presentan valores bajos en todos los tratamientos, en torno a 10 mg/L o menos, reflejando efectividad en su remoción desde el inicio. En general, el gráfico sugiere que dosis mayores de tratamiento contribuyen a reducir contaminantes y mejorar la calidad ambiental, mientras que el pH permanece estable.

Tabla 6. Tratamiento más óptimo con carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes de las aguas grises del caserío San José

Tratamiento	N	HSD Tukey ^{a,b}				
		Subconjunto				
		1	2	3	4	5
3	12	31,4633				
2,5	12		40,6417			
2	12			66,8550		
1,5	12				73,0350	
1 gramos	12					76,6533
0,5 gramos	12					79,7733
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000	,091

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS Versión 26.

Para determinar el tratamiento óptimo con carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes en aguas grises del caserío San José, se aplicó la prueba HSD de Tukey (Tabla 3), identificando cinco grupos homogéneos según la cantidad de carbón activado utilizada (0,5 g, 1 g, 1,5 g, 2 g, 2,5 g y 3 g). Los resultados muestran que el tratamiento con 3 gramos de carbón activado alcanzó la menor media de contaminantes (31.46), seguido de los tratamientos con 2,5 gramos (40.64) y 2 gramos (66.85), mientras que los tratamientos con 1,5 gramos, 1 gramo y 0,5 gramos presentaron medias más altas (73.03, 76.65 y 79.77, respectivamente). Las diferencias significativas entre los subconjuntos homogéneos son visibles hasta un nivel de significancia de 0.091, con una media cuadrática del error de 7.768 y un tamaño de muestra armónica de 12. Se concluye, por lo tanto, que el tratamiento con 3 gramos de carbón activado es el más óptimo en la reducción de contaminantes en las aguas grises analizadas.

Tabla 7. Eficacia del tratamiento más efectivo

Tratamiento	Aceites y Grasas	Coliformes Termotolerantes	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Demanda Biológica de oxígeno	pH	Sólidos Suspendidos Totales
3.0 gramos	4.23	64.3	20.3	18.7	6.45	83.4
	3.85	61.1	20.13	13.2	6.6	75.3
Promedio	4.04	62.7	20.215	15.95	6.525	79.35
Eficacia (%)	71.14	49.02	55.08	50.16	11.10	75.43

Interpretación:

La Tabla 7 presenta la eficacia del tratamiento más efectivo con 3 gramos de carbón activado de semilla de aguaje para reducir contaminantes en aguas grises del caserío San José. Los resultados muestran reducciones notables en varias categorías de contaminantes, con una eficacia promedio del 71.14% en la eliminación de aceites y grasas, 49.02% en la reducción de coliformes termotolerantes, 55.08% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 50.16% en la demanda biológica de oxígeno (DBO5). En cuanto al pH, el ajuste fue de 11.10%, logrando valores más cercanos al rango óptimo, mientras que los sólidos suspendidos totales se redujeron en un 75.43%, lo que sugiere una clara disminución de partículas en suspensión. Estos valores indican que el tratamiento con 3 gramos de carbón activado es altamente efectivo, sobre todo en la remoción de aceites, grasas y sólidos suspendidos, mejorando significativamente la calidad del agua en parámetros clave de salud ambiental y cumpliendo con los objetivos de tratamiento de aguas grises.

Tabla 8. Prueba de Normalidad

Pruebas de normalidad			
Kolmogorov-Smirnov ^a			
	Estadístico	gl	Sig.
Resultados	,302	72	,000

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS versión 26.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Interpretación:

La presente prueba de normalidad registró una puntuación estadística de 0.302 y un valor de significancia de 0.000 en un grupo de 72 observaciones, señala que los datos no se ajustan a una distribución normal ($p < 0.05$). La implementación de la corrección de Lilliefors respalda esta conclusión, indicando que hay desviaciones importantes en comparación con una distribución normal. Es conveniente considerar métodos estadísticos no paramétricos para el estudio de estos datos. Considerando que la distribución es no normal, se realizará el test ANOVA de un factor.

Tabla 9. Prueba de Anova – Comprobación de Hipótesis

ANOVA					
resultados					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	350703,456	5	70140,691	54,279	,000
Dentro de grupos	85287,491	66	1292,235		
Total	435990,947	71			

Fuente. Datos extraídos del programa SPSS versión 26.

Interpretación:

La prueba ANOVA en la Tabla 9 muestra una significancia (Sig.) de 0.000, indicando que existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($p < 0.05$). Con un valor F de 54.279 y una media cuadrática entre grupos de 70140.691, los resultados permiten rechazar la hipótesis nula (H_0), que sostiene que el uso de carbón activado de semilla de aguaje no es eficaz en el tratamiento de aguas grises. En consecuencia, se acepta la hipótesis alterna (H_i), lo que sugiere que el uso de carbón activado de semilla de aguaje es eficaz para el tratamiento de aguas grises en el caserío San José, 2024.



C A P Í T U L O 4

DISCUSIÓN

El objetivo específico 1 de esta investigación es evaluar los parámetros físico-químicos y biológicos iniciales en las aguas grises del caserío San José, Moyobamba, en el año 2024. Esta evaluación es crucial para establecer una línea base de calidad del agua en esta área y comprender el impacto potencial de estos parámetros en la salud ambiental y humana. En particular, el monitoreo de indicadores como aceites y grasas, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y sólidos suspendidos totales permite identificar fuentes de contaminación y evaluar el grado de intervención necesario para garantizar un ambiente acuático seguro y saludable. De acuerdo con Teoría de la Calidad del Agua, la presencia de contaminantes orgánicos y microorganismos en cuerpos de agua puede tener efectos adversos significativos en la biodiversidad y la salud pública. Así, un control riguroso de estos parámetros es esencial para mantener la sostenibilidad ecológica y prevenir enfermedades transmitidas por el agua (Hernández y Jiménez, 2017, p. 44).

Los resultados de esta investigación muestran una situación mixta en términos de calidad del agua en el caserío San José. La concentración de aceites y grasas se encontró en 14 mg/L, inferior al límite máximo permisible de 20 mg/L, lo cual sugiere un manejo adecuado de este contaminante. Este hallazgo coincide con lo reportado por Sánchez et al. (2021, p. 103), quienes observaron que un control efectivo de aceites y grasas reduce el riesgo de contaminación severa en aguas grises y mitiga el impacto en los organismos acuáticos. Además, el recuento de coliformes termotolerantes en el agua es de 123 NMP/100 mL, muy por debajo del límite de 10,000 NMP/100 mL, lo que indica una calidad microbiológica aceptable. Este valor es similar a lo señalado por Martínez et al. (2019, p. 88), quienes concluyeron que bajos niveles de coliformes en aguas residuales sugieren una carga biológica controlada y menos riesgos de enfermedades hídricas. Por otro lado, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se encuentra en 45 mg/L, también por debajo del límite permisible de 100 mg/L, lo que sugiere una baja carga orgánica. Este hallazgo se alinea con la literatura que enfatiza la importancia de mantener bajos niveles de DBO para evitar la degradación del ecosistema acuático (Fernández et al., 2018, p. 51). Sin embargo,

un resultado preocupante es la concentración de sólidos suspendidos totales, que alcanzó 323 mg/L, muy superior al límite de 150 mg/L. Este valor elevado coincide con los estudios de Cabrera y Salazar (2022, p. 135), quienes alertan que altos niveles de sólidos suspendidos afectan la turbidez del agua, reducen la penetración de luz y, en consecuencia, la fotosíntesis, impactando negativamente en la biodiversidad y salud del ecosistema acuático. mientras que la mayoría de los parámetros indican un manejo adecuado de los contaminantes en las aguas grises de San José, la alta concentración de sólidos suspendidos destaca como un problema que requiere atención inmediata. Este exceso de turbidez puede limitar la calidad del agua, deteriorando las condiciones de vida de las especies acuáticas y dificultando los procesos de autodepuración. Por lo tanto, se recomienda implementar medidas correctivas enfocadas en la reducción de sólidos suspendidos para mejorar la calidad del agua en esta área y proteger la integridad ambiental del caserío San José y sus alrededores.

El objetivo específico 2 de esta investigación es evaluar la eficacia de diferentes tratamientos de aguas grises utilizando carbón activado de semilla de aguaje, con el fin de mejorar parámetros físico-químicos y biológicos clave en la calidad del agua en el caserío San José, Moyobamba, en ese contexto la teoría de la adsorción y la filtración, aplicada mediante el uso de carbón activado, explica cómo los materiales porosos, como el carbón de origen orgánico, retienen contaminantes a través de la interacción de sus superficies y poros, permitiendo la remoción de compuestos orgánicos e inorgánicos en el agua (Gómez y Rodríguez, 2019, p. 62). Este proceso ha sido ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas debido a su eficacia y sostenibilidad.

En los resultados obtenidos, se observa una disminución de los sólidos suspendidos totales en función del aumento de la dosis de carbón activado. Inicialmente elevados, estos sólidos muestran una leve disminución con dosis mayores, lo cual está en línea con el estudio de Vélez y Vázquez (2020, p. 75), quienes demostraron que los coagulantes orgánicos son efectivos para reducir la concentración de contaminantes sólidos en aguas residuales, mejorando la transparencia del agua y su calidad general. Además, se registró una reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), especialmente en dosis más altas del tratamiento. Esto respalda la efectividad del carbón activado para disminuir la carga orgánica del agua, en concordancia con los hallazgos de Jiménez et al. (2018, p. 81), quienes observaron mejoras significativas en la calidad del agua al incorporar carbón activado como método de tratamiento.

La reducción de coliformes termotolerantes, que alcanza niveles inferiores a 60 NMP/100 mL, representa una mejora significativa en la calidad microbiológica del agua tratada. Esta disminución es particularmente relevante desde una perspectiva de salud pública, ya que implica menores riesgos de enfermedades transmitidas por el agua. Este efecto coincide con los resultados reportados por Sosa y De la Rosa (2020, p. 93), quienes destacan la capacidad del carbón activado para eliminar microorganismos patógenos de las aguas residuales, mejorando así su seguridad para el uso humano y ecológico. Finalmente, los niveles de aceites y grasas permanecen bajos en las aguas tratadas (10 mg/L o menos), lo que sugiere que el carbón activado no solo es efectivo en la eliminación de sólidos y microorganismos, sino que también desempeña un papel importante en la reducción de otros contaminantes. Esto coincide con la conclusión de Vargas et al. (2021, p. 120), quienes indican que el uso de materiales orgánicos como el carbón activado es una alternativa más sostenible que los coagulantes inorgánicos, que pueden introducir metales pesados en el ecosistema. Los resultados de este estudio subrayan la efectividad del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises. Además de reducir la concentración de sólidos suspendidos, DQO, DBO y coliformes, su aplicación se muestra viable y sostenible en el contexto rural de San José. Estos hallazgos sugieren que el uso de materiales orgánicos podría ser una alternativa ecológica a los coagulantes tradicionales, contribuyendo a la salud ambiental y a la calidad del agua, al tiempo que reduce el riesgo de introducir contaminantes adicionales en el medio ambiente.

El objetivo específico 3 de este estudio fue evaluar la eficacia del tratamiento con carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes en aguas grises del caserío San José, Moyobamba. La teoría de adsorción en materiales porosos, como el carbón activado, postula que la estructura microporosa de estos materiales facilita la retención de diversas sustancias contaminantes, incluyendo metales pesados y compuestos orgánicos, mejorando así la calidad del agua tratada (González y Herrera, 2017, p. 45). En este contexto, el carbón activado de origen vegetal es reconocido por su capacidad de adsorción y eficiencia en la remoción de una amplia variedad de contaminantes, lo que lo convierte en un recurso prometedor en el tratamiento de aguas residuales (Martínez y López, 2018, p. 32). Los resultados obtenidos en esta investigación revelaron que una dosis de 3 gramos de carbón activado de semilla de aguaje resultó ser la más eficaz, logrando una media de contaminantes de 31.46 en los parámetros evaluados. Este hallazgo es congruente con los resultados de Rosales y Quevedo (2019, p. 53), quienes documentaron la efectividad del carbón activado de aguaje en la eliminación de metales pesados, con eficiencias de remoción significativas aun con dosis relativamente bajas, indicando que este tipo de carbón posee características de adsorción favorables para aplicaciones en aguas residuales. Asimismo, el estudio de Cedeño-Loor y Ayón-Hidalgo (2020, p.

84) sugiere que la incorporación de carbón activado en tratamientos de aguas grises genera mejoras sustanciales en la calidad del agua en comparación con métodos convencionales que emplean solo materiales residuales. Esto resalta que el carbón activado de aguaje no solo es eficaz, sino que puede ofrecer una ventaja adicional en términos de eficiencia en el contexto de los sistemas rurales y semiurbanos donde los recursos son limitados.

Además, los resultados de esta investigación también están en consonancia con los hallazgos de Gómez et al. (2021, p. 71), quienes evidenciaron que el carbón activado vegetal es efectivo para reducir parámetros críticos, tales como la demanda química de oxígeno (DQO) y los sólidos suspendidos. Esto es de particular relevancia dado que la reducción de estos parámetros es fundamental para cumplir con los estándares de calidad de agua en el ámbito ambiental. No obstante, es importante señalar que investigaciones previas, como la de León et al. (2018, p. 97), han indicado que los tratamientos convencionales de aguas residuales suelen requerir dosis más elevadas para alcanzar niveles de eficiencia comparables, lo cual subraya la ventaja competitiva del carbón activado de aguaje, que logra resultados óptimos con menor cantidad de material. Los resultados obtenidos en este estudio corroboran la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en la reducción de contaminantes en aguas grises, particularmente en dosis bajas. Estos hallazgos no solo fortalecen la evidencia sobre el potencial del carbón activado vegetal, sino que también sugieren su aplicabilidad en comunidades rurales como San José, donde la implementación de tecnologías de bajo costo y alta eficiencia es fundamental para la sostenibilidad del manejo del agua.

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises, con especial enfoque en la reducción de contaminantes físicos y microbiológicos. La teoría que sustenta este objetivo se basa en el principio de adsorción, un proceso físico-químico en el que contaminantes disueltos en un líquido son atrapados en la superficie de un material adsorbente. En este caso, el carbón activado, por su estructura porosa y alta área superficial, tiene la capacidad de adsorber contaminantes como aceites y grasas, sólidos suspendidos y microorganismos patógenos, mejorando así la calidad del agua (Cabrera et al., 2018, p. 134). Este mecanismo de adsorción es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales debido a su efectividad y bajo costo. Este principio es fundamental en el tratamiento de aguas grises, ya que posibilita la eliminación de contaminantes perjudiciales mediante un proceso natural y relativamente económico, lo cual es de gran relevancia en áreas rurales. En cuanto a los resultados obtenidos, el carbón activado de semilla de aguaje mostró una reducción promedio del 71.14% en aceites y grasas, y del 75.43% en sólidos suspendidos totales. Estos valores de remoción indican una alta eficiencia en la reducción de estos contaminantes, en línea con

los estudios de Bitón y Gonzáles (2020, p. 59), quienes reportaron que el carbón activado de aguaje es eficaz no solo en la adsorción de metales pesados, como el plomo, sino también en la captura de otros compuestos orgánicos. La destacada capacidad del carbón activado de aguaje en la eliminación de contaminantes orgánicos en este estudio sugiere que su aplicación podría extenderse más allá de los metales pesados, ampliando su potencial de uso en tratamientos de aguas residuales domésticas y semi-industriales. Además, el análisis mostró una reducción del 49.02% en coliformes termotolerantes y una corrección del pH hacia valores óptimos (mejorado en un 11.10%), lo cual indica que el tratamiento contribuyó a una mejora significativa en la calidad microbiológica del agua. Este efecto fue también observado en investigaciones previas, como las de Ruiz y Orbegoso (2019, p. 42), quienes señalaron que el carbón activado de aguaje reduce la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en efluentes domésticos, lo que refleja su efectividad en el control de la carga orgánica y microbiológica. Estos resultados destacan la utilidad del carbón activado en la optimización de parámetros de calidad microbiológica, fundamental para la protección de la salud pública. Por otro lado, investigaciones como la de Cedeño-Loor y Ayón-Hidalgo (2020, p. 89) sugieren que la inclusión de carbón activado en sistemas de tratamiento biológico incrementa la eficiencia global del proceso, lo cual confirma la versatilidad de este material en diversos contextos de tratamiento. No obstante, la literatura también destaca que factores como la temperatura de activación y el pH influyen directamente en la eficacia del carbón activado (Ruiz y Orbegoso, 2019, p. 43), lo cual es importante considerar para optimizar su desempeño en diferentes condiciones.

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises, especialmente en la reducción de contaminantes físicos y microbiológicos. La teoría fundamental detrás de este objetivo es el proceso de adsorción, en el cual materiales porosos como el carbón activado tienen una alta capacidad de atrapar contaminantes debido a su estructura microporosa y su extensa área superficial, lo que permite la eliminación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos en soluciones acuosas (García y Méndez, 2017, p. 67). Este principio de adsorción es ampliamente utilizado en tratamientos de aguas residuales, ya que proporciona una solución económica y efectiva para la remoción de contaminantes sin recurrir a productos químicos nocivos. Los resultados obtenidos de la prueba ANOVA mostraron diferencias estadísticamente significativas en la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje para el tratamiento de aguas grises, con un valor de significancia (Sig.) de 0.000 y un valor F de 54.279. Esto permite rechazar la hipótesis nula (H_0) y confirma que el uso de este material es efectivo para reducir contaminantes en el agua. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos, como los de Bitón y Gonzáles (2020, p. 59), quienes también encontraron que el carbón activado de aguaje tiene una alta capacidad de adsorción,

especialmente en la eliminación de contaminantes orgánicos y metales pesados. Además, Ruiz y Orbegoso (2019, p. 42) corroboran que este material es eficaz para reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), lo que indica una mejora en la calidad del agua tratada, especialmente en lo que respecta a la carga orgánica.

El promedio de eliminación de aceites y grasas en este estudio fue de 71.14%, lo que refleja una mejora significativa en la calidad del agua. Este resultado refuerza la idea de que el carbón activado de semilla de aguaje puede ser una opción viable para tratar aguas residuales en áreas rurales, donde las alternativas de tratamiento convencionales son limitadas o costosas. De hecho, el tratamiento con carbón activado de aguaje podría ser una solución sostenible y accesible en comunidades como el caserío San José, donde el acceso a tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas es restringido. Sin embargo, es importante resaltar que, como sugieren Cedeño-Loor y Ayón-Hidalgo (2020, p. 89), la eficacia del carbón activado puede depender de varios factores, como la calidad inicial del agua y la variabilidad de los contaminantes presentes. Estos factores pueden influir en el rendimiento del tratamiento y es crucial tenerlos en cuenta al momento de implementar soluciones a gran escala.

En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio sugieren que el carbón activado de semilla de aguaje es una alternativa eficaz para la reducción de contaminantes en aguas grises. Este tratamiento no solo mejora la calidad del agua, sino que también ofrece una opción sostenible y accesible para comunidades rurales, lo que contribuye a la gestión adecuada de recursos hídricos y mejora la salud ambiental de la región. Se recomienda realizar estudios adicionales que evalúen su efectividad en diferentes condiciones y tipos de contaminantes, para ampliar su aplicabilidad y beneficiar a un mayor número de comunidades.



C A P Í T U L O 5

CONCLUSIONES

1. La evaluación de la eficacia del carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises en el caserío San José ha demostrado resultados concluyentes, evidenciados por la prueba ANOVA, que muestra una significancia de 0.000 y un valor F de 54.279, lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los grupos analizados. Estos hallazgos permiten rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis alterna (H_1), confirmando así que el uso de carbón activado de semilla de aguaje es efectivo en la reducción de contaminantes en aguas grises.
2. La evaluación de los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas grises en el caserío San José durante el año 2024 ha permitido identificar tanto aspectos positivos como áreas críticas que requieren atención. Aunque la concentración de aceites y grasas y las demandas bioquímicas de oxígeno (DBO) se encuentran dentro de los límites permisibles, lo que sugiere un manejo adecuado de estos contaminantes, el recuento de coliformes termotolerantes y, sobre todo, la elevada concentración de sólidos suspendidos totales, que alcanza 323 mg/L, superando significativamente el límite de 150 mg/L, representan un riesgo significativo para la salud ambiental y la calidad del agua.
3. La evaluación del uso de carbón activado de semilla de aguaje para tratar aguas grises ha mostrado resultados prometedores. Aunque los Sólidos Suspendidos Totales son inicialmente altos (225-275 mg/L), se observó una ligera disminución con dosis mayores del tratamiento. El pH se mantuvo constante alrededor de 7, lo cual es favorable. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) disminuyeron notablemente, pasando de 50 mg/L a menos de 30 mg/L para la DQO y de 35 mg/L a menos de 20 mg/L para la DBO. Los Coliformes Termotolerantes también se redujeron de 100 NMP/100 mL a menos de 60 NMP/100 mL con dosis de 3 gramos. Además, los niveles de Aceites y grasas se mantuvieron bajos, alrededor de 10 mg/L.

4. El tratamiento con 3 gramos de carbón activado de semilla de aguaje es el más óptimo para reducir contaminantes en las aguas grises del caserío San José, alcanzando una media de contaminantes de 31.46.
5. El tratamiento con 3 gramos de carbón activado de semilla de aguaje demostró una alta eficacia en la reducción de contaminantes en las aguas grises del caserío San José, logrando un promedio del 71.14% en la eliminación de aceites y grasas, 49.02% en la reducción de coliformes termotolerantes, y un 55.08% y 50.16% en la disminución de la demanda bioquímica y biológica de oxígeno, respectivamente. Además, se observó una reducción significativa del 75.43% en los sólidos suspendidos totales, y el pH se ajustó adecuadamente con una mejora del 11.10%.



C A P Í T U L O 6

RECOMENDACIONES

- I Implementar el uso de carbón activado de semilla de aguaje en el tratamiento de aguas grises en el caserío San José como una práctica estándar, dado que los resultados de la evaluación han demostrado su eficacia significativa en la reducción de contaminantes. Se sugiere llevar a cabo capacitaciones para el personal encargado del tratamiento de aguas, con el fin de optimizar su aplicación y maximizar la mejora en la calidad del agua.
- I Se recomienda realizar un monitoreo y gestión constante de los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas grises en el caserío San José. Es crucial implementar un plan de acción específico para reducir la concentración de sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes, lo que puede incluir la mejora de las técnicas de tratamiento y la educación de la comunidad sobre la correcta disposición de desechos, con el fin de mitigar el riesgo para la salud ambiental y garantizar la calidad del agua.
- I Se recomienda continuar optimizando las dosis de carbón activado de semilla de aguaje para maximizar la reducción de sólidos suspendidos totales y mantener el pH alrededor de 7, realizando análisis periódicos para asegurar la eficacia del tratamiento. Además, es crucial establecer un protocolo de seguimiento que monitoree regularmente los niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y coliformes termotolerantes, garantizando que se mantengan dentro de límites seguros.
- I Se recomienda establecer el uso continuo de 3 gramos de carbón activado de semilla de aguaje como tratamiento estándar para las aguas grises en el caserío San José, dado que ha demostrado ser el más efectivo con una media de 31.46 en la reducción de contaminantes. Además, se sugiere realizar un monitoreo periódico de la calidad del agua post-tratamiento para asegurar que los niveles de contaminantes se mantengan dentro de rangos aceptables y ajustar la dosificación si es necesario.

- I Promover el uso de carbón activado de semilla de aguaje en la gestión de aguas grises, dado su destacado rendimiento en la reducción de contaminantes, logrando un 71.14% de eliminación de aceites y grasas y mejoras significativas en la calidad del agua. Se recomienda realizar talleres de capacitación para los habitantes del caserío San José sobre el uso y mantenimiento de este tratamiento, así como la implementación de un programa de seguimiento para evaluar de manera continua la eficacia del tratamiento y ajustar las prácticas según sea necesario

REFERENCIAS

Activated Carbon Filters in the Infiltration Field of Basic Sanitation Units - Cajamarca. En: Export Date: 17 April 2024; Cited By: 0, *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology* [en línea]. S.l.: s.n., vol. 2023-July. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85172310541&partnerID=40&md5=e9c2da9a8cbac490b41aff9f88b897a0>.

ALCUDIA, Daniel; GARCÍA, Ana Paola; LÓPEZ, Armando. *Estrés hídrico: problemáticas y soluciones. Un análisis con enfoque jurídico*[en línea]. Tesis de pregrado. México: Universidad Iberoamericana Puebla, 2022. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5598>

ANAYA MELÉNDEZ, Fernando, et al. Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de regadío. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], 2022, vol. 88, no 1, p. 52-62. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.375>

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA [ANA]. *8° Foro Mundial del Agua - Brasilia 2018: Compartiendo Agua*. Lima: Ediciones ANA. Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/935/ANA0000717.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

AZABACHE, Y., ROJAS, K., IRIGOÍN, S., RODRIGUEZ, R. y QUISPE, B., 2020. Propuesta de un sistema hidráulico de reutilización de las aguas grises que disminuiría el consumo de agua potable en viviendas familiares. *Manglar* [en línea], vol. 17, no. 2, Disponible en: <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/163/0>.

BAUTISTA-GÓMEZ, Marcos Irán, et al. Tratamiento de aguas grises para viviendas de interés social popular. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI* [en línea], 2023, vol. 11, no Especial3, p. 151-156. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icbi.v11iEspecial3.11509>

BITÓN, Deli.; GONZÁLES, Mili. *Revisión de la eficiencia del carbón activado de semillas de aguaje y eucalipto en el tratamiento de aguas contaminadas por plomo*[en línea]. Tesis de pregrado. Tarapoto: Universidad Peruana Unión, 2020. Disponible en: <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3274>

CALDERÓN, V., JAUREGUI, J. y MALLAUPOMA, H. Influencia del tipo de activación en la superficie específica del carbón activado de residuo de café arábica de Chanchamayo. *Prospectiva Universitaria* [en línea], 2024, vol. 19, no. 1. ISSN 1990-2409. Disponible en: <https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/1953>.

REFERENCIAS

CÁRDENAS, J., 2018. Investigación cuantitativa. *trAndeS Material Docente*, No. 8, Berlín: *trAndeS - Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible y Desigualdades Sociales en la Región Andina* [en línea], DOI 10.17169/refubium-216. Disponible en: <https://refubium.fu-berlin.de/handle/fub188/22407>.

CAYO-DOMINGUEZ, Richar; MONTALVO-ACHIC-HUAMÁN, Claudia; PAMPA-QUISPE, Noe Benjamin. Cinética e isothermas de adsorción del arsénico (III) en solución acuosa mediante carbón activado con estructura nanoporosa obtenido de lodos orgánicos de aguas residuales. *Tecnología y ciencias del agua* [En línea], 2023, vol. 14, no 6, p. 01-39. ISSN-e 2007-2422. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9210143>

CEDEÑO-LOOR, Roger Orley; AYÓN-HIDALGO, Carlos César. Reducción de color y turbidez en aguas residuales del camal municipal de Manta, mediante biofiltración con cáscara de coco (cocos nucifera) y cascarrilla de arroz (*oryza sativa*), enero 2020.: Artículo de investigación. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU* [en línea], 2020, vol. 3, no 6, p. 21-37. ISSN: 2600-5824. Disponible en: <https://publicacionescd.uleam.edu.ec/index.php/yaku/article/view/77>

DIAZ, Diana et al. Design of an Automated System for Water Re-Use From Washing Machine. *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"* [en línea]. S.I.: Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions, pp. 1-8. vol. 2022-July. ISBN 9786289520705. DOI 10.18687/LACCEI2022.1.1.25. Disponible en: <https://laccei.org/LACCEI2022-BocaRaton/meta/FP25.html>.

DÍAZ, M., DECINTI, A., BLANCO, D. y VASQUEZ, K., 2021. Metodología para la reutilización de aguas grises en viviendas ubicadas en áreas de estrés hídrico y estrés hídrico extremo - Caracterización, calidad y opciones de tratamiento para su reuso en Chile. *Informes de la Construcción* [en línea], vol. 73, no. 563, ISSN 1988-3234. DOI 10.3989/ic.80823. Disponible en: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/6078>.

FLORES, Edinson et al. Effect of two artisanal carbonization methods on the elaboration of charcoal from aguaje (*Mauritia flexuosa*) seed. *Agroindustrial Science* [en línea], 2023, vol. 13, no. 1, ISSN 22262989. DOI 10.17268/agroind.sci.2023.01.04. Disponible en: <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/5204>.

REFERENCIAS

GUTIÉRREZ, Gema et al. Sistema automatizado de reciclado de aguas domiciliarias para el riego de áreas verdes. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*. ISSN 2602-8166 [en línea], 2021, vol. 5, no. 2, ISSN 2602-8166. DOI 10.47230/unesum-ciencias.v4.n3.2020.281. Disponible en: <http://186.101.39.22/index.php/unesumciencias/article/view/281>.

HERNÁNDEZ, D. y CHAPARRO, T. Tratamiento de agua lluvia con fines de consumo humano. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* [en línea], 2020, vol. 30, no. 2, ISSN 1909-7735. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/4409>

HERNÁNDEZ, O., 2021. An approach to the different types of nonprobabilistic sampling. *Revista Cubana de Medicina General Integral* [en línea], vol. 37, no. 3, ISSN 15613038. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252021000300002.

JACO, Evilson et al. Eficiencia de la Opuntia ficus indica como coagulante para el tratamiento de las aguas residuales grises y su aplicación en un sistema piloto. *Ingeniería del Agua* [en línea], 2022, vol. 26, no. 3, ISSN 1886-4996. DOI 10.4995/ia.2022.17478. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/17478>.

LA ROSA, A., CARDENAS, A., CALDERON, S., QUIROZ, U. y MUEDAS, G., 2022. Estudio electroquímico de la remoción de los iones CD(II) en soluciones acuosas mediante carbón activado obtenido de la cáscara de naranja. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], vol. 88, no. 2, ISSN 2309-8740. DOI 10.37761/rsqp.v88i2.387. Disponible en: <https://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/387>.

LÓPEZ, Miguel et al. Oxidación avanzada como tratamiento alternativo para las aguas residuales. Una revisión. *Enfoque UTE* [en línea], 2021, vol. 12, no. 4, ISSN 1390-6542. DOI 10.29019/enfoqueute.769. Disponible en: <https://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/769>.

MANZOLILLO, B., 2020. Uso de Tecnologías Limpias para el tratamiento de aguas residuales urbanas. *Tekhné* [en línea], vol. 23, no. 3, Disponible en: <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/4660/3887>.

MEDINA, Karol; MANRIQUE, Ricardo. Uso del carbón activado para el tratamiento de aguas. Revisión y estudios de caso. *Revista Nacional de Ingeniería* [en línea], 2018, vol. 1, no 1, p. 8-21. Disponible en: <https://agenf.org/ojs/index.php/RNI/article/view/269/264>

REFERENCIAS

ÑAUPAS, Humberto et al. Summary for Policymakers. En: 5ta EDICIÓN (ed.), *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis* [en línea]. S.l.: Cambridge University Press, pp. 1-30. 2014, vol. 53. Disponible en: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book_part.

OECD, 2018. *Manual de Frascati 2015* [en línea]. S.l.: OECD. ISBN 9789264310681. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/manual-de-frascati-2015_9789264310681-es.

OTZEN, T. y MANTEROLA, C., 2017. International Journal of Morphology. [en línea], DOI <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=s0717-95022017000100037&script=sci_abstract.

PORTUGAL, J., 2023. Eficacia del filtro con carbón activado a base del bagazo de la caña de azúcar para la mejora de las características organolépticas del agua en la poza de la Asociación de Villa Hidropónica a nivel laboratorio. Arequipa, 2022. *Universidad Tecnológica del Perú* [en línea], Disponible en: https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/6940/J.Portugal_L.Sosa_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

REYES, Claudia et al. Elaboracion de carbon activado de hueso de durazno y hueso de aceituna para la adsorcion de cianuro. *International Seven Journal of Multidisciplinary* [en línea], 2023, vol. 2, no. 6, ISSN 27649547. DOI 10.56238/isevmjv2n6-004. Disponible en: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/ISJM/article/view/3096>.

RIEIRO, Ignacio et al. Valoración de una intervención didáctica en medición mediante un diseño pre-experimental. *Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia* [en línea], 2021, vol. 8, no. 2, ISSN 2254-8351. DOI 10.24197/edmain.2.2019.44-60. Disponible en: <https://uva-doc.uva.es/handle/10324/52957>.

ROSALLES, Daney Jossely; QUEVEDO, Andrea Gimena. *Adsorción con carbón activado obtenido de la semilla de Aguaje para la remoción de plomo y cromo en aguas contaminadas* [en línea]. Tesis de pregrado. Callao: Universidad Nacional del Callao, 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/3345>.

REFERENCIAS

RUIZ VALLES, Lenin; ORBEGOSO ALVAREZ, Kristill Yliany. *Eficiencia del carbón activado obtenido a partir del endocarpo de "coco" (Cocos nucifera) y semilla de "aguaje" (Mauritia flexuosa), en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales domésticas en el distrito de Habana-Moyobamba, 2018* [en línea]. Tesis de pregrado. Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/3345>.

SALAS, Marcelo et al. Remoción de contaminantes en aguas residuales empleando carbón activado. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa* [en línea], 2021, no. December, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/357434871_REMOCION_DE_CONTAMINANTES_EN_AGUAS_RESIDUALES_EMPLEANDO_CARBON_ACTIVADO.

SUÁREZ, D. y UBILLUS, K., 2022. USO DEL EPISPERMO DE SEMILLA DE LÚCUMA COMO CARBÓN ACTIVADO. *Anales Científicos* [en línea], 2022, vol. 83, no. 1, ISSN 2519-7398. DOI 10.21704/ac.v83i1.1887. Disponible en: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1887>.

SUN, María et al. Adsorción De Metales Pesados Empleando Carbones Activados Preparados a Partir De Semillas De Aguaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea], vol. 80, no. 4, ISSN 2309-8740. DOI 10.37761/rsqp.v80i4.159. Disponible en: <http://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/159>.

VALENZUELA, Arturo Armando; TORRES, Jonatan. Remoción de colorantes azóicos (A5 y R40) con carbón activado de cáscara de nuez. *Ingeniería, investigación y tecnología* [en línea], 2020, vol. 21, no. 3. ISSN 25940732. Disponible en: <http://www.revistaingenieria.unam.mx/numeros/v21n3-07.php>.

VÉLEZ, Á. y VÁZQUEZ, A., 2020. Elaboración artesanal de coagulante con exoesqueletos de camarón para el tratamiento de agua residual. *Reacción*, vol. 3, no. January 2020,

WINTER, R. The Idea of Equality and Qualitative Inquiry. *Qualitative Inquiry* [en línea], vol. 23, no. 1, ISSN 1077-8004. DOI 10.1177/1077800416657102. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1077800416657102>.

YUSUF, Jemilat et al. Electromagnetic wave absorption of coconut fiber-derived porous activated carbon. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* [en línea], 2022, vol. 61, no. 5, ISSN 03663175. DOI 10.1016/j.bsecv.2021.02.003. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0366317521000157>.

REFERENCIAS

ZAMBRANO, Miguel Ernesto; PÉRE, Miguel Manuel. Elaboración de carbón activado a partir de endocarpio de coco para la remoción de anaranjado de metilo en fase acuosa. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2023, vol. 39. ISSN 01884999. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/54514>

ZAMORA, Franklin; RUIZ, Cristhian; NUÑEZ, Kely. Activated Carbon Filters in the Infiltration Field of Basic Sanitation Units-Cajamarca. *LACCEI*[en línea], 2023, vol. 1, no 8.ISSN: 2414-6390. Disponible en: <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.483>

AUTORES

LUSGARDO WIAN PUELLES CHUQUIZUTA: Ingeniero de Sistemas agregado al Colegio de Ingeniero del Perú (CIP 237020), Doctorante de la Universidad Nacional de San Martín en el programa de Gestión Empresarial, Maestría en Administración con mención en Gestión Pública en la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Amplia experiencia en el manejo de metodologías para el desarrollo de software, además de una integral colaboración como docente en la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Senati y la Universidad César Vallejo. Experiencia laboral como responsable del Servicio de Comunicaciones del Hospital II – 1 Rioja, integrando tecnologías en beneficio de la salud pública, colaborador en el desarrollo de expedientes y proyectos de inversión. Impulsador de centros de investigación científica para el fortalecimiento de conocimientos. <https://orcid.org/0000-0001-9696-6456>

FLAVIO FARCEQUE SANTOS: Profesional en Ingeniería Ambiental, egresado de la Universidad César Vallejo. Su formación académica le ha permitido adquirir sólidos conocimientos en gestión ambiental, evaluación de impacto ambiental, tratamiento de residuos y sostenibilidad. A lo largo de su trayectoria, ha demostrado un fuerte compromiso con el desarrollo de soluciones técnicas orientadas a la conservación del medio ambiente y la mejora de la calidad de vida de las comunidades. Farceque Santos se ha desempeñado en diversos proyectos relacionados con el monitoreo ambiental y la implementación de sistemas de gestión bajo normas ISO. Posee habilidades en el manejo de herramientas SIG, así como experiencia en la elaboración de informes técnicos y diagnósticos ambientales. Su enfoque multidisciplinario le permite integrar aspectos sociales, económicos y ecológicos en la toma de decisiones. Es reconocido por su capacidad analítica, liderazgo y orientación a resultados sostenibles en el ámbito público y privado. <https://orcid.org/0000-0003-1761-0836>

AUTORES

LUZMERY GONZALES SILVA: Profesional en Ingeniería Ambiental formada en la Universidad César Vallejo, con una sólida preparación en la prevención, mitigación y control de impactos ambientales. Su perfil destaca por su dominio en áreas como gestión de residuos sólidos, evaluación ambiental, y normativas nacionales e internacionales en materia ambiental. A lo largo de su formación y experiencia, ha participado en proyectos orientados a la sostenibilidad y al cumplimiento de estándares ambientales en distintos sectores productivos. Posee habilidades en el uso de herramientas técnicas como sistemas de información geográfica (SIG) y monitoreo ambiental. Luzmery se caracteriza por su enfoque proactivo, capacidad analítica y compromiso con la protección del entorno natural. Además, muestra una destacada capacidad para trabajar en equipo y liderar iniciativas de mejora ambiental tanto en entornos urbanos como rurales. <https://orcid.org/0000-0002-9711-5386>

SEGUNDO VICTOR LEÓN RAMÍREZ: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, con sólida trayectoria como consultor en temas de modernización del Estado, políticas públicas y mejora de la gestión institucional. Especialista en Arbitraje en Contrataciones con el Estado, con experiencia en la resolución de controversias y en la aplicación del marco normativo de contrataciones públicas. Investigador inscrito en el Registro Nacional de Ciencia, Tecnología y de Innovación Tecnológica (RENACYT), con producción académica orientada al fortalecimiento de la gestión pública y la gobernanza. Actualmente me desempeño como docente universitario en programas de pregrado y posgrado, promoviendo la formación integral y ética de futuros profesionales. <https://orcid.org/0000-0003-2388-450X>

HÉCTOR MANUEL SUÁREZ RÍOS: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad. Maestro en Ciencias Económicas. Maestro en Investigación y Docencia Universitaria. Ingeniero de Sistemas. Con sólida experiencia en procesos del sector público, ocupando cargos jefaturales y gerencial. Experiencia en proyectos de tecnología y comunicaciones en hardware y software. Con experiencia en docencia universitaria en pregrado, promoviendo la formación humanística, tecnológico y ético con visión integral. <https://orcid.org/0000-0003-2877-5046>

AUTORES

JEYSI SOTERO CHUMBE: Ingeniera Ambiental de profesión, con una sólida trayectoria como especialista en medio ambiente, desarrollando e implementando estrategias orientadas a la sostenibilidad y la gestión ambiental eficiente. Cuento con una Maestría en Docencia Universitaria, lo que me ha permitido combinar mi formación técnica con una vocación educativa, promoviendo la formación integral de estudiantes y futuros profesionales. He desempeñado funciones en el ámbito académico con amplia experiencia en el manejo y dirección de programas educativos, fortaleciendo procesos de enseñanza-aprendizaje y la gestión institucional con enfoque de calidad. Actualmente me desempeño como docente universitaria, comprometida con la formación ética, crítica y responsable de las nuevas generaciones. [https://orcid.org/ 0000-0003-2684-8416](https://orcid.org/0000-0003-2684-8416)

ISABEL CRISTINA PEREA DEL AGUILA: Maestra en gestión pública, con especialización en Recursos Humanos del Sector Público; con amplia y reconocida trayectoria en el área de Recursos Humanos del sector de salud pública. Actualmente me desempeño como docente universitario en el programa de pregrado en la facultad de ciencias empresariales y responsable del área del Centro de Innovación y Emprendimiento, buscando la formación profesional de los futuros líderes de nuestro país. [https://orcid.org/ 0000-0002-4601-8594](https://orcid.org/0000-0002-4601-8594)

TONY VENANCIO PEREYRA GONZALES: Doctor en Gestión Pública y Gobernabilidad, Maestro en Gestión Pública, Licenciado en Administración, con experiencia en manejo de personal, con conocimiento adquirido a través de los años en el área de ventas, conocimiento de Computación e informática, manejo efectivo de técnicas de ventas, desarrollo de procesos productivos, facilidad de manejo de grupos de venta, creativo, enfocado en desarrollo de trabajo en objetivos, facilidad de palabra, y habilidad en sinergia productiva (trabajo en equipo). Responsable e interactivo empresarial y personal. Con participación directa en los objetivos empresariales, flexible a los cambios y en decisiones bajo presión. Manejo de Presupuestos. Manejo Presupuestario de Obras. Manejo Logístico y financiero. Docente universitario con mucha participación en el desarrollo de la institución que me alberga. Asesor de trabajos productivos y emprendimientos. [https://orcid.org/ 0000-0003-3833-2126](https://orcid.org/0000-0003-3833-2126)

AUTORES

CÉSAR AUGUSTO FLORES TANANTA: Doctor en gestión pública y gobernabilidad; maestro en administración de negocios – MBA; Contador Público Colegiado de profesión, Docente Investigador RENACYT, docente en la facultad de Ciencias Económicas, jefe de investigación formativa e integridad científica, jefe de investigación, desarrollo, innovación y transferencia tecnológica. <https://orcid.org/0000-0002-9336-1483>

VÍCTOR ENRIQUE VÁSQUEZ CUEVA: Economista con experiencia en gestión administrativa, control presupuestario y desarrollo de proyectos académicos. Actualmente es analista de repositorio en la Universidad César Vallejo, donde impulsa la gestión y difusión del conocimiento científico. Como autor, combina su formación económica y su experiencia en investigación para abordar temas con un enfoque analítico y estratégico. Se destaca por su adaptabilidad, trabajo en equipo, constancia y capacidad de comunicación efectiva, participando en la organización de eventos académicos y en el fortalecimiento de competencias investigativas. <https://orcid.org/0000-0002-3092-2714>

EFICACIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLA DE AGUAJE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



EFICACIA DEL CARBÓN ACTIVADO DE SEMILLA DE AGUAJE EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

