



Efectos de Aguas Grises Tratadas con Tecnologías Alternativas sobre el Crecimiento de *Raphanus Sativus* en Tacna

Impact of Alternatively Treated Greywater on *Raphanus sativus* Development in Tacna, Peru

Johan Jesus Peña Mamani (Autor Corresponsal)

jjpeuam@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0004-5486-5648

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

David Elard Callusani Condori

decallusanic@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0000-9808-6460

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Sugey Elba Huanca Ramos

sehuancar@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0008-3183-5357

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Silvana Dayana Usueta Mamani

sdusuetam@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0007-0069-1592

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Michael Tommy Rian Aguilar Guivin

maguilarg@unjbg.edu.pe

ORCID: 0009-0008-3639-1695

Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

Aceptación: 8 de junio de 2025

Publicación: 30 de junio de 2025

Resumen

Ante la creciente escasez hídrica en zonas áridas como Tacna, Perú, se vuelve imprescindible desarrollar alternativas sostenibles para el aprovechamiento de recursos hídricos no convencionales. El presente estudio evaluó la eficiencia del tratamiento de aguas grises mediante tecnologías alternativas basadas en coagulantes naturales (almidón de yuca y camote) y carbón activado de cáscara de naranja, con la finalidad de determinar su efecto en la calidad del agua y el crecimiento de *Raphanus sativus*. Se utilizó un diseño completamente al azar y análisis estadísticos (ANOVA y prueba de Tukey) para evaluar parámetros fisicoquímicos (pH y turbidez) y biológicos (porcentaje de germinación y longitud radicular). Los resultados evidenciaron reducciones significativas de turbidez superiores al 85 %, con el camote a 25 ml alcanzando la mayor eficiencia (86.67 %), sin alterar el pH, que se mantuvo dentro de un rango neutro (7.1 - 7.8). Asimismo, todas las semillas tratadas presentaron una germinación del 100 % y un desarrollo radicular significativo, siendo la yuca al 15 % el tratamiento más favorable. Los resultados validan la viabilidad de estos métodos como soluciones sostenibles, económicas y de bajo impacto ambiental, promoviendo su reutilización en contextos agrícolas. Se recomienda ampliar el estudio a otras fuentes de agua y cultivos.

Palabras clave: Aguas Grises; Coagulantes Naturales; Almidón; Yuca; Camote; Carbón Activado; *Raphanus Sativus*; Germinación

Abstract

The increasing water scarcity in arid regions such as Tacna, Peru, necessitates the development of sustainable alternatives for utilizing non-conventional water resources. This study evaluated the efficiency of greywater treatment using alternative technologies based on natural coagulants (cassava and sweet potato starch) and orange peel activated carbon, aiming to determine their effect on water quality and *Raphanus sativus* growth. A completely randomized design and statistical analyses (ANOVA and Tukey's test) were employed to assess physicochemical (pH and turbidity) and biological parameters (germination percentage and radicle length). Results demonstrated significant turbidity reductions exceeding 85 %, with sweet potato starch at 25 ml achieving the highest efficiency (86.67 %), without altering pH, which remained within a neutral range (7.1-7.8). Furthermore, all treated seeds exhibited 100 % germination and significant radicle development, with 15 % cassava starch proving the most favorable treatment. These findings validate the viability of these methods as sustainable, cost-effective, and low-environmental-impact solutions, promoting their reuse in agricultural contexts. Expanding the study to other water sources and crops is recommended.

Keywords: Greywater; Natural Coagulants; Starch; Cassava; Sweet potato; Activated Carbon; *Raphanus Sativus*; Germination





Introducción

La creciente escasez hídrica a nivel global ha impulsado la reutilización de aguas grises domiciliarias como alternativa para riego agrícola, práctica que requiere tecnologías accesibles y sostenibles para garantizar su seguridad microbiológica y fisicoquímica. Los coagulantes químicos convencionales, como el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), generan lodos tóxicos y riesgos de neurotoxicidad, lo que ha motivado la búsqueda de alternativas no convencionales como los coagulantes naturales, ya que estos son una opción creciente para la clarificación del agua, siendo una opción económica y adecuada para comunidades con acceso limitado a agua potable. A diferencia del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, cuyo uso tiene limitaciones, los coagulantes naturales son más sostenibles, ya que agrupan las partículas suspendidas en el agua, facilitando su eliminación ([Cierito et al., 2023](#)).

A nivel mundial, el 42 % de las aguas residuales no recibe tratamiento. En Europa y América del Norte, este porcentaje se reduce al 14 %, mientras que en América Latina alcanza el 54 %, lo que genera riesgos físicos que varían de moderados a extremadamente altos. Además, la falta de tratamiento impacta de forma desproporcionada a las comunidades rurales: mientras que en zonas urbanas se trata el 40 % del caudal, en áreas rurales solo el 9 % recibe algún tipo de tratamiento ([La República, 2025](#)).

Diversas investigaciones en América Latina y el Caribe han explorado alternativas sostenibles para el tratamiento de aguas residuales mediante el uso de coagulantes naturales y biopolímeros, destacando su eficacia, bajo impacto ambiental y viabilidad económica, especialmente en contextos de escasez hídrica. Un estudio en Panamá destaca el potencial de biopolímeros derivados de tubérculos como el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*), por su eficacia en la remoción de turbidez (70 – 99.9 %) y su bajo impacto ambiental ([Rodríguez et al., 2022](#)). Esta solución natural se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente en regiones áridas donde el agua tratada podría sostener sistemas agroproductivos vulnerables, y resalta que el aumento de la productividad del agua en la agricultura es una intervención clave para mejorar la eficiencia del uso del recurso hídrico ([Organización de las Naciones Unidas \[ONU\], 2020](#)). Asimismo, una investigación en Ecuador validó el uso de coagulantes naturales como el gel de *aloe vera* y el mucílago de pitahaya (*Selenicereus undatus*), destacando su disponibilidad, bajo costo y eficiencia en la clarificación del agua ([Cevallos Coox et al., 2022](#)). No obstante, aún persiste el uso de coagulantes convencionales como el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) o las sales de hierro, los cuales si bien son efectivos, generan lodos tóxicos y representan riesgos para la salud humana y el ambiente ([Ynofuente, 2022](#)).

Estos estudios cobran especial relevancia en el contexto peruano, donde la escasez hídrica representa una amenaza creciente para la seguridad alimentaria, considerando que el agua es el principal insumo para la producción agrícola del país ([Centro Nacional de Planeamiento Estratégico del Perú \[CEPLAN\], 2023](#)). En relación con ello, un estudio realizado en Perú evaluó dos biopolímeros naturales (pectina de cocona y quitosano de exoesqueletos de camarón) que mostraron una alta eficiencia en la remoción de cromo hexavalente y sólidos suspendidos totales, sin alterar significativamente el pH del agua tratada, lo que refuerza la viabilidad de estas tecnologías sostenibles en contextos con recursos limitados ([Basurto-Flores & Medina-Guerrero, 2023](#)).

En el Perú, los principales valles de ríos y quebradas están contaminados con aguas servidas, debido a los desagües que desembocan en ellos, y luego estas aguas son utilizadas para el riego de productos agrícolas, constituyendo un riesgo para la salud de los consumidores ([Aguilar Sánchez et al., 2021](#)). Al respecto, la región de Tacna, afronta una crisis que la posiciona en último lugar en términos de recursos hídricos, debido a que todas sus cuencas presentan rendimientos hídricos en el intervalo más bajo a nivel nacional, con una disponibilidad anual de apenas 355 hm^3 , lo que representa el 0.01 % del total nacional. Además, aunque Tacna alberga 400 glaciares rocosos, la segunda mayor cantidad del país, el pico hídrico podría ya haber ocurrido o estaría por alcanzarse en los próximos 20 años, tras lo cual la escorrentía disminuiría y, con ella, la disponibilidad de agua ([Videnza, 2024](#)).

La escasez hídrica en Tacna, agravada por la sobrecarga de las lagunas de estabilización de Magollo, ha impulsado la búsqueda de coagulantes naturales derivados de tubérculos para tratar aguas grises domiciliarias. Estudios recientes demuestran que el almidón de yuca (*Manihot esculenta*) alcanza 81.32 % de remoción de turbidez ([Anaya et al., 2022](#)), mientras que la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) logra un 88.85 % en aguas del río Locumba y semillas de papaya (*Carica papaya*) obtienen 88.51 % de eficiencia. Estos bio coagulantes, además de ser económicos y biodegradables, generan lodos enriquecidos en nutrientes aptos para agricultura, clave para cultivos como el rabanito (*Raphanus sativus*), que representa el 2 % de la producción nacional. Esta hortaliza es una de las más consumidas dentro de la familia Brassicaceae, con una relevancia agrícola y económica destacada a nivel mundial. Su cultivo no solo aporta valor nutricional y una rica concentración de compuestos bioactivos, sino que también representa una fuente significativa de ingresos en la agricultura. El



Raphanus sativus es sensible a factores ambientales como la fertilización y el estrés hídrico, los cuales afectan significativamente su composición química; además, los brotes (*sprouts*) de rábano destacan por su rapidez de germinación y alto contenido de compuestos bioactivos, especialmente antocianinas y glucosinolatos. (Gamba et al. 2021).

Por otro lado, se han implementado materiales adsorbentes como el carbón activado elaborado a partir de cáscara de naranja, demostrando que el carbón activado obtenido de cáscara de naranja, mediante un proceso de activación química, es capaz de remover hasta el 99 % de los contaminantes presentes, reflejando su alto potencial adsorbente para contaminantes orgánicos y turbidez, debido a su porosidad y bajo costo, convirtiéndolo en una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas grises (Shukla et al. 2020).

En ese sentido, la aplicación de soluciones naturales para el tratamiento de aguas grises en Tacna podría optimizar el ciclo hídrico, considerando que aproximadamente el 40 % del agua residencial es reutilizable, y contribuir a mitigar los riesgos sanitarios asociados a vertidos no tratados. Con base en lo mencionado, se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es el efecto del tratamiento de aguas grises con coagulantes naturales (almidón de yuca y camote) y carbón activado de cáscara de naranja sobre la turbidez del agua y el crecimiento de *Raphanus sativus* en condiciones de escasez hídrica en Tacna?

Por ello, el presente estudio tiene como objetivo general evaluar los efectos de las aguas grises tratadas con tecnologías alternativas sobre el crecimiento del rábano (*Raphanus sativus*) en Tacna. Como objetivos específicos se plantea la elaboración de coagulantes naturales a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*), la elaboración de carbón activado a base de cáscara de naranja y, la evaluación de la eficiencia de las tecnologías alternativas en la remoción de turbiedad de aguas grises, así como el análisis del efecto del agua tratada en el crecimiento del rábano (*Raphanus sativus*), según la evaluación del índice de germinación.

En coherencia con este enfoque, la hipótesis sostiene que el tratamiento de aguas grises con coagulantes naturales derivados de almidón de yuca y camote, seguido de filtración con carbón activado de cáscara de naranja, reduce significativamente la turbidez del agua y no afecta negativamente la germinación ni el crecimiento radicular de *Raphanus sativus*, siendo una alternativa viable para su uso agrícola en contextos de escasez hídrica.

Método

Enfoque Metodológico

El presente estudio adoptó un enfoque cuantitativo de diseño experimental, orientado a evaluar la eficiencia de distintos tratamientos aplicados al tratamiento de aguas grises. Este enfoque se caracteriza por la medición objetiva de variables, el análisis estadístico de los datos y la contrastación de hipótesis. En este contexto, se buscó establecer relaciones causales entre los tratamientos aplicados (coagulantes naturales, filtro con carbón activado y diseño de filtro purificador) y los efectos observados sobre la calidad del agua tratada, así como sobre parámetros fisiológicos de germinación de semillas.

Diseño de Estudio

Se empleó un diseño completamente al azar (DCA), adecuado para estudios experimentales con control riguroso de variables, permitiendo distribuir aleatoriamente los tratamientos entre las unidades experimentales. Este diseño se aplicó en las distintas fases del estudio: tratamiento de aguas grises, evaluación del rendimiento de extracción de almidón, calidad del agua tratada (pH, turbidez), y pruebas de germinación. Las variables independientes fueron el tipo de coagulante natural, el uso de filtro de carbón activado y el tipo de tratamiento; mientras que las variables dependientes fueron el rendimiento de extracción de almidón, turbidez, pH, porcentaje de germinación y longitud de raíces de *Raphanus sativus*.

Tipo de Estudio

El estudio fue de tipo explicativo, dado que se orientó a identificar relaciones causales entre los tratamientos aplicados y los resultados observados tanto en la calidad del agua como en la respuesta fisiológica de las semillas. Además, se incorporaron elementos predictivos, en tanto se buscó anticipar los efectos de cada combinación de tratamiento sobre los indicadores de germinación.



Población y Muestra

La población del estudio estuvo constituida por aguas grises generadas en lavaderos de autos (*Car Wash*) en la ciudad de Tacna. La muestra correspondió a las fracciones de agua gris tratadas bajo diferentes condiciones experimentales, seleccionadas mediante muestreo intencional, con el propósito de asegurar representatividad de las condiciones reales del origen del recurso hídrico y su viabilidad de tratamiento.

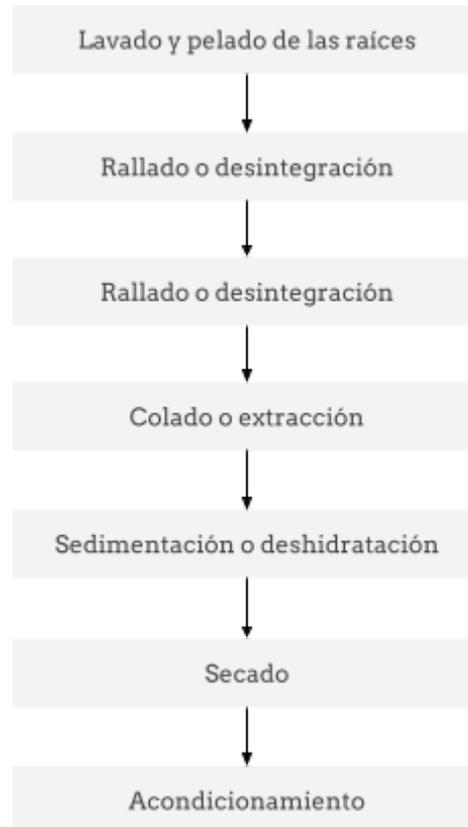
Procedimiento Experimental

Extracción de almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y camote (*Ipomoea batatas*)

Para la extracción de almidón de cada tubérculo se usó la metodología plasmada en la *Figura 1* según lo planteado por [Aristizábal et al. \(2007\)](#).

Figura 1

Diagrama de Flujo para la Extracción de Almidón de Yuca.



Nota. Extraído de la Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. ([Aristizábal et al., 2007](#)).

Proceso de Obtención del Carbón Activado de la Cáscara de Naranja

Obtención de Materia Prima

La cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) fue recolectada a partir de residuos orgánicos generados en juguerías, ferias y otros establecimientos que emplean este fruto. Posteriormente, se lavó con agua destilada para eliminar contaminantes y se cortó en trozos para facilitar su secado en horno a 110 °C durante 24 horas ([Olortegui & Morales, 2024](#)).

Elaboración del Carbón Activado

- La cáscara seca fue sometida a pre-carbonización en una mufla, elevando la temperatura a razón de 5 °C/min hasta alcanzar 120 °C durante 40 minutos ([Cid López, 2023](#)).
- Finalizado este proceso, el carbón se enfrió en un desecador y se trituró con mortero hasta obtener una textura granular ([Lara et al., 2024](#)).
- Para la activación, se utilizó ácido fosfórico (H₃PO₄) al 85 % en una proporción 1:3 (1 g de muestra por 3 ml de ácido). La mezcla se homogeneizó con una varilla de vidrio y se secó en estufa a 80 °C durante 24 horas ([Cid López, 2023](#)).
- Luego, se realizó la carbonización final en mufla, elevando la temperatura a 10 °C/min hasta alcanzar 450 °C durante 3 horas. Finalizado el proceso, el carbón activado se lavó con agua destilada hasta alcanzar pH neutro para eliminar residuos ácidos ([Cid López, 2023](#)).



- Finalmente, la muestra se secó en horno a 60 °C durante 24 horas y se trituró hasta obtener un polvo fino (Marín, 2019).

Diseño del Filtro Purificador de Agua Casero

- Una vez caracterizadas las aguas grises, se diseñó un sistema de filtración sencillo utilizando botellas plásticas (PET) como base, siguiendo enfoques tradicionales por su practicidad y accesibilidad.
- El sistema incorporó sedimentadores con materiales filtrantes económicos, como piedra de río seleccionada por su tamaño para retención eficiente de partículas (Anaya et al., 2022).
- Se aplicó una filtración multimedia de cinco etapas: grava mediana, grava fina, arena, carbón activado y algodón.
- Se preparó un tanque de sedimentación utilizando la parte inferior cortada de una botella de 2 L en forma de embudo, con capacidad suficiente para contener toda el agua gris.

Métodos para Pruebas de Germinación de Semillas

Para evaluar la eficiencia del tratamiento, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y se determinó el índice de germinación mediante ensayos en placas Petri con papel filtro humedecido con agua gris tratada.

Se utilizaron 360 semillas de rabanito (*Raphanus sativus*), 45 por repetición. Diariamente se registró el número de semillas germinadas durante un periodo de 7 días.

El porcentaje de germinación (Seed Germination, SG) se calculó con la fórmula (1):

$$SG(\%) = 100 * \left(\frac{\text{number of germinated seeds}}{\text{total number of seeds}} \right) \quad (1)$$

El índice de velocidad de germinación (Mean Germination Time, MGT) se calculó con la fórmula (2):

$$MGT(\text{day}) = \sum \frac{(n * d)}{N} \quad (2)$$

Donde "n" es el número de semillas germinadas por día, "d" es el número de días desde el inicio del experimento y "N" el total de semillas germinadas al final (Será, 2023)

Técnicas de Recolección de Datos

Las técnicas utilizadas incluyeron:

- Mediciones fisicoquímicas (pH, turbidez) posteriores al tratamiento del agua.
- Evaluación del rendimiento en la extracción de almidón a partir de yuca y camote.
- Ensayos de germinación en condiciones controladas utilizando placas Petri.
- Observación cuantitativa directa del crecimiento radicular de las plántulas.
- Análisis estadístico de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey.

Instrumentos

Los instrumentos empleados fueron:

- Software Excel y el Software Estadístico Statgraphics Centurion XVI.I 16.01.0003 estadísticas complementarias para análisis de datos.
- Cuestionarios de registro para anotar valores medidos (pH, turbidez, rendimiento de almidón).
- Placas Petri y papel filtro para ensayos de germinación.
- Mallas de filtración, mortero y balanzas digitales en el proceso de extracción y cuantificación de almidón.
- Horno, estufa y mufla para el tratamiento térmico de la cáscara de naranja.
- Cronómetros y cintas métricas para la medición del tiempo de germinación y longitud de raíces.

Análisis de Datos

Para evaluar la eficiencia de los tratamientos aplicados en la reducción de la turbidez del agua gris, se empleó la fórmula de eficiencia de remoción (%RT), la cual permite estimar el porcentaje de reducción respecto a la turbidez inicial. Esta fórmula es ampliamente utilizada en estudios de tratamiento de aguas:

$$\%RT = \left(\frac{T_{\text{inicial}} - T_{\text{final}}}{T_{\text{final}}} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

- T inicial corresponde al valor de turbidez antes del tratamiento (en NTU).
- T final representa el valor de turbidez después de aplicar el coagulante.



Este cálculo se aplicó a cada tratamiento con distintas dosis de coagulantes naturales (yuca y camote) para determinar su eficiencia comparativa.

Los datos fueron analizados mediante técnicas estadísticas inferenciales. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre tratamientos, seguido de la prueba de Tukey al 95 % de confianza para comparaciones múltiples. Para las pruebas de germinación, se utilizó el índice de germinación calculado según la fórmula reportada por [Será \(2023\)](#), en la que se relaciona el número diario de semillas germinadas con el número total al final del experimento. El análisis permitió identificar el tratamiento más eficiente en términos de clarificación del agua y su efecto positivo en la germinación de semillas.

Resultados

Tabla 1

Parámetros Iniciales de la Muestra

Parámetros	Valor
Turbidez (NTU)	273.86
pH	7.6

En la Tabla 1 se observa los valores iniciales de la muestra obtenida de un *Car-Wash*, la muestra inicial del agua presentó una alta turbidez de 273.86 NTU, indicando una gran cantidad de partículas suspendidas, característica de aguas no tratadas. El pH registrado fue de 7.6, lo que muestra una condición neutra y estable en cuanto a acidez.

Aplicación de los Coagulantes Naturales

Dado que se observó una reducción significativa en los valores de turbidez, se procedió a calcular la eficiencia de remoción (%RT) aplicando la fórmula descrita previamente en la sección de Métodos.

Tabla 2

Efecto de los Coagulantes sobre la Turbidez, pH y Eficiencia de Remoción (%RT)

Tubérculo	Dosis (ml)	Turbidez promedio (NTU)	pH	RT (%)
Camote	15	36.8	7.4	86.56
Camote	20	36.55	7.8	86.65
Camote	25	36.5	7.8	86.67
Yuca	15	39.84	7.2	85.45
Yuca	20	38.35	7.1	86.00
Yuca	25	38.84	7.1	85.82

En la Tabla 2 se observa la aplicación de los tratamientos de coagulación de camote (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en diferentes dosis siendo estas de 15, 20 y 25 ml, se logró una notable reducción en la turbidez, obteniendo los valores más altos de 36.8 y 39.84 NTU. Asimismo, se presentan los valores de turbidez promedio (NTU), pH y porcentaje de remoción de turbidez (%RT) obtenidos tras aplicar diferentes dosis de coagulantes naturales a base de camote (*Ipomoea batatas*) y yuca (*Manihot esculenta*). Se observa que todas las dosis evaluadas logran reducciones significativas en la turbidez del agua gris, con eficiencias superiores al 85 %. El camote mostró una mayor eficiencia en general, alcanzando hasta 86.67 % de remoción con 25 ml, mientras que el pH se mantuvo dentro de un rango neutro (7.1 – 7.8), cumpliendo con los parámetros establecidos por los estándares de calidad ambiental. Esta tabla permite visualizar de manera integrada el rendimiento físico-químico de cada tratamiento.

Resultados para los Coagulantes Naturales en Relación de pH y Turbidez

Tabla 3

Análisis de Varianza (ANOVA) para el Efecto de Dosis de Coagulante en el pH

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.567	5	0.313	282.00	0.0000
Intra grupos	0.013	12	0.001		
Total (Corr.)	1.580	17			



En la Tabla 4, se detalla que los resultados de pH fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) presentando la existencia de diferencia significativa en al menos uno de los valores reportados mediante los tratamientos de coagulación al añadir soluciones en distintas proporciones de coagulantes naturales de camote (C1:15ml, C2:20ml, C3:25ml) y yuca (Y1:15ml, Y2:20ml, Y3:25ml), donde ($F = 282.00$; $p = 0.0000$) con un 95 % de confianza (tabla 3)

Tabla 4

Prueba de Rangos Múltiple de Medias (Tukey) al 95% para el Efecto de Dosis de Coagulante en el pH

Coagulante	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
Y2	3	7.10	A	
Y3	3	7.13	A	B
Y1	3	7.20	B	
C1	3	7.37	C	
C3	3	7.80	D	
C2	3	7.80	D	

Nota: Se agrupó los coagulantes en cuatro categorías homogéneas diferenciadas por letras (A, B, C, D), donde aquellos que comparten la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.

Al existir diferencia significativa se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) lo cual corroboró las diferencias significativas identificadas en ANOVA, con un ($p < 0.05$), donde se aprecia las dosis tanto de yuca y camote en todas sus dosificaciones (15 ml, 20 ml, 25 ml) difieren entre sí, pero de todas maneras se encuentran dentro de los parámetros establecidos por los ECA que varían entre 6 y 7 pH (ECA, 2017), cabe mencionar que los valores descritos en la Tabla 4, se mantienen entre valores de 7.10-7.80 de pH, siendo la yuca la que presenta valores menores a los 7.30 pH, mientras que el camote valores más elevados pero sin superar los 7.80 pH.

Tabla 5

Análisis de Varianza (ANOVA) para el Efecto de Dosis de Coagulante en la Turbidez

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	29.4478	5	5.88956	7.69	0.0019
Intra grupos	9.19453	12	0.766211		
Total (Corr.)	38.6423	17			

Nota: El valor del coeficiente de variación ($CV = 2.7\%$) evidencia una variabilidad mínima entre los datos, lo que respalda la consistencia interna del experimento y la validez de las diferencias significativas detectadas mediante el análisis de varianza.

Los resultados del análisis de varianza multifactorial, presentados en la Tabla 5, revelaron diferencias significativas en el efecto de los factores estudiados sobre la variable de respuesta turbidez. El factor coagulante demostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos ($F = 7.69$; $p = 0.0019$). Esto indica que al menos uno de los coagulantes produce un efecto diferente sobre la turbidez del agua en comparación con los demás, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 6

Prueba de Rangos Múltiple de Medias (Tukey) al 95% para Coagulantes Naturales

Coagulante	Casos	Media	Grupos Homogéneos	
C3	3	36.5033	A	
C2	3	36.55	A	
C1	3	36.8067	A	
Y2	3	38.3567	A	B
Y3	3	38.8433	A	B
Y1	3	39.8467	B	

Nota: Se agruparon los coagulantes en dos categorías homogéneas diferenciadas por letras (A y B), donde aquellos que comparten la misma letra no presentan diferencias estadísticamente significativas entre sí.



Ante la existencia de una diferencia significativa por lo menos en uno de los coagulantes naturales evaluados ($F = 7.69$; $p = 0.0019$), en la Tabla 6 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$), los cuales confirmaron las diferencias significativas identificadas en el ANOVA, revelando un contraste estadísticamente significativo ($p < 0.05$) entre los coagulantes evaluados detallados en la Tabla 4. Los coagulantes derivados de camote en todas sus concentraciones (C1: 15 mL, C2: 20 mL y C3: 25 mL) mostraron un comportamiento estadísticamente similar (Grupo A), a su vez todas las concentraciones mencionadas con anterioridad difieren estadísticamente de la dosis de yuca (Y1: 15 ml), siendo esta última la menos efectiva en remoción de turbidez de agua proveniente de lavado de carro.

Filtrado con Carbón Activado de Cáscara de Naranja

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y su respectiva prueba Tukey al 95 % de confiabilidad, siendo estas muestras las resultantes posteriores a la aplicación de los coagulantes naturales.

El análisis de varianza mostró efectos altamente significativos del tipo de tubérculo ($F = 778.5$; $p < 0.001$), de la dosis ($F = 646.49$; $p < 0.001$) y de la interacción tubérculo por dosis ($F = 1360.72$; $p < 0.001$) sobre el pH del agua tratada. Estos resultados indican que tanto los factores principales como su interacción influyen de manera significativa en la variable analizada.

Tabla 7

Análisis de Varianza (ANOVA) del pH de la Muestra de Agua Tratada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	30.423	5	6.085	1.300	0.327
Intra grupos	56.107	12	4.676		
Total (Corr.)	86.529	17			

Nota: El CV obtenido fue de 4 %, valor que representa una dispersión mínima en relación con la media, lo cual respalda la precisión de las mediciones.

Por otro lado, en la Tabla 7, se detalla el análisis ANOVA para el pH en la muestra tratada con carbón activado muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos (valor $p = 0.3265$, mayor a 0.05). La Razón-F de 1.300 refuerza esta conclusión, indicando que las variaciones observadas entre los tratamientos pueden atribuirse al azar y no a un efecto real de los coagulantes o dosis aplicadas.

Eficiencia del Agua Tratada en el Crecimiento de Rábano (*Raphanus sativus*)

Se realizó análisis de datos correspondientes, siendo este un análisis de varianza (ANOVA) y su respectiva prueba Tukey al 95 % de confiabilidad, datos descritos en la Tabla 6.

Tabla 8

Análisis de Varianza de la Turbidez de la Muestra de Agua Tratada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6.082	5	1.216	36.55	0.000
Intra grupos	0.399	12	0.033		
Total (Corr.)	6.481	17			

En la Tabla 8, los resultados del análisis de varianza (ANOVA) evidenciaron que tanto el tipo de tubérculo como la dosis del coagulante influyeron significativamente en la turbidez del agua tratada, con una Razón-F de 36.55 y un valor de $p = 0.000$. La variabilidad "entre grupos" (6.082) es considerablemente mayor que la "intra grupos" (0.399), lo que indica que las diferencias entre los tipos de tubérculo y las dosis son más significativas que la variabilidad interna. El CV de 15% sugiere una variabilidad moderada en los resultados.



Tabla 9

Prueba Tukey al 95 % de Confiabilidad de Tratamiento de Aguas Grises en Relación a la Turbidez

Coagulante	Casos	Media	Grupos Homogéneos
C3	3	3.553	A
Y3	3	4.013	B
Y2	3	4.073	B
C2	3	4.100	B
Y1	3	4.203	B
C1	3	5.447	C

En la Tabla 9, se describe según la prueba de Tukey al 95% de confianza, los coagulantes C3 se encuentra con una diferencia estadísticamente significativa a comparación de los tratamientos Y3, Y2, C2, y Y1 los cuales conforman un grupo homogéneo ($p > 0.05$), sin diferencias estadísticamente significativas entre sus medias de turbidez. Sin embargo, el coagulante C1 forma un grupo distinto ($p < 0.05$) con una media de turbidez superior (5.447), lo que indica que tiene un efecto menos eficiente en la reducción de la turbidez en comparación con los otros coagulantes. Esto sugiere que los coagulantes C3, Y3, Y2, C2, y Y1 son más efectivos para reducir la turbidez que C1.

Tabla 10

Germinación (%) y Tiempo Medio de Germinación (MGT) según Tratamiento

Muestra	Dosis (%)	Germinación (%)	Tiempo Medio de Germinación
Blanco	0	0 %	0.0
Agua Destilada	100	100 %	7.5
Yuca	15	100 %	7.4
Yuca	20	100 %	7.2
Yuca	25	100 %	7.0
Camote	15	100 %	7.2
Camote	20	100 %	7.0
Camote	25	100 %	6.0

Posterior la evaluación del tratamiento de aguas grises se consideró diferentes variables del crecimiento de las semillas, así como se mencionó en la metodología previa, tal como se muestra en la Tabla 7, se determinó que las semillas en las muestras de agua gris sin tratar no presentó ningún crecimiento dando esto a el valor de 0 %, sin embargo posterior a el tratamiento todas semillas presentaron una germinación del 100 %, dando así los siguientes resultados.

Después de la evaluación del tratamiento aplicado, se analizaron diferentes variables relacionadas con el tiempo medio de germinación de las semillas, tal como se describe en la metodología. Según los resultados presentados en la Tabla 10, el grupo blanco no presentó germinación (0 días). En contraste, las semillas tratadas con agua destilada y coagulantes de yuca y camote en distintas concentraciones posterior a su filtrado en el filtro de carbón activado de naranja, estos mostraron tiempos medios de germinación que variaron entre 6.0 y 7.5 días, evidenciando una respuesta positiva en todos los tratamientos posteriores.

Tabla 11

Análisis de Varianza del Crecimiento de Raíz de las Semillas con Agua Tratada

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	348.07	7	49.7243	16.46	0
Intra grupos	338.267	112	3.02024		
Total (Corr.)	686.337	119			

Nota: El alto coeficiente de variación (CV = 77.71 %) indica una marcada dispersión en los datos de longitud radicular entre los tratamientos evaluados, lo cual sugiere diferencias considerables en la respuesta de las plántulas según el tipo de riego aplicado.



En la Tabla 11, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) realizado con los datos obtenidos muestra que existen diferencias estadísticamente significativas en la longitud de la raíz de las semillas según el tipo de riego aplicado. El valor de F obtenido (16.46) y el valor P (0.0000) indican que al menos uno de los tratamientos genera una media de longitud significativamente distinta respecto a los demás. Esto significa que el tipo de solución utilizada para el riego tiene un efecto real sobre el crecimiento de las raíces, descartando que las diferencias observadas se deban al azar.

Tabla 12

Prueba Tukey al 95 % de Confiabilidad del Crecimiento de Raíz de las Semillas con Agua Tratada

Riego	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Blanco	15	0.000	A
C15	15	0.764	A
C25	15	3.307	B
Y25	15	3.313	B
Y20	15	3.827	B
C20	15	3.827	B
Agua Destilada	15	4.167	B
Y15	15	5.520	C

En la Tabla 12 se muestra la prueba de Tukey al 95% evidenciando que existen diferencias significativas entre los tratamientos de riego en cuanto a la variable evaluada. El grupo "Blanco" y el tratamiento "C15" forman un grupo homogéneo (A), lo que indica que no presentan diferencias estadísticas entre sí. Por otro lado, los tratamientos "C25", "Y25", "Y20", "C20" y "ADestilada" conforman un segundo grupo homogéneo (B), mostrando resultados significativamente mayores que el grupo A, pero sin diferencias significativas entre ellos. Finalmente, el tratamiento "Y15" se diferencia del resto al formar un grupo propio (C), presentando el valor medio más alto. Esto indica que el tipo y concentración del riego influyen de manera significativa en la respuesta observada, siendo "Y15" el tratamiento con el mayor efecto.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos en la Tabla 1 y Tabla 2, se evidencia que las aguas grises procedentes del *Car-Wash* presentan inicialmente una alta carga de sólidos suspendidos, reflejada en una turbidez de 273.86 NTU, valor considerablemente superior al reportado por [Cortés-Luna et al. \(2025\)](#), cuyo máximo registrado fue de 159 FTU para aguas con detergente. Esta diferencia puede atribuirse a la naturaleza de las actividades realizadas en un *Car-Wash*, donde se acumulan residuos sólidos, aceites y sedimentos de vehículos, a diferencia del estudio comparativo, en el que las muestras provienen del uso doméstico del lavado con detergente y suavizante. La aplicación de coagulantes naturales a base de camote y yuca, logró una remoción de turbidez superior al 85 %, alcanzando hasta un 86.67 % con camote a 25 ml, lo que demuestra una eficiencia muy superior a la obtenida con mucílago de nopal (18.87 %) y semilla de moringa (11.74 %) en el estudio de [Cortés-Luna et al. \(2025\)](#). Incluso el sulfato de aluminio, empleado como coagulante químico de referencia, sólo alcanzó una remoción máxima del 55.24 % en aguas con detergente, lo que resalta el potencial de los coagulantes naturales evaluados en este estudio como alternativas sostenibles y altamente efectivas para el tratamiento de aguas grises con altos niveles de turbidez. También, el mantenimiento del pH en rangos neutros (7.1-7.8) evidencia que el tratamiento no altera significativamente la calidad química del agua, lo cual es un aspecto crítico para su posible reutilización y cumplimiento de los estándares de calidad ambiental.

Al contrastar los resultados del presente estudio con los obtenidos por [León Manchi \(2025\)](#) mediante el uso de *Opuntia ficus-indica* y *Vicia faba* como coagulantes naturales, se observa que todos los tratamientos logran reducciones significativas de turbidez en aguas grises con niveles iniciales elevados. Mientras que en el presente estudio la turbidez inicial alcanzó los 273.86 NTU, los valores reportados para *Opuntia* y *Vicia* faba fueron incluso más altos: 383 NTU y 572 NTU, respectivamente. A pesar de estas diferencias, los tres estudios comparten una alta eficacia en la remoción de turbidez. En particular, *Opuntia ficus-indica* alcanzó una remoción máxima del 97.53 % a pH 10.2, superior al 86.67 % logrado con camote en el presente estudio; sin embargo, es importante destacar que dicha



eficiencia fue dependiente del ajuste del pH a un nivel alcalino, mientras que en este trabajo se obtuvo una remoción elevada manteniendo un rango de pH neutro (7.1–7.8), sin necesidad de acondicionamiento químico previo. Esto representa una ventaja operativa y ambiental, puesto que evita el uso de productos adicionales que podrían generar residuos o afectar la calidad final del agua.

Por otro lado, con la *Vicia faba*, de [León Manchi \(2025\)](#), si bien también se observaron eficiencias altas (hasta 89.98 % a pH 10.2), bajo condiciones neutras su capacidad de remoción se redujo a 59.18 %, lo cual contrasta con los resultados del presente estudio, donde se mantuvo una eficiencia superior al 85 % con coagulantes de origen vegetal (camote y yuca) sin modificar el pH. Ambos estudios externos evaluaron parámetros complementarios como la remoción de sólidos disueltos totales (TDS) y la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), logrando niveles moderados de mejora, con máximos de 34.52 % para TDS y hasta 77.06 % para DBO₅ con Opuntia. Si bien dichos indicadores no fueron analizados en el presente trabajo, los resultados alcanzados en términos de turbidez posicionan a los coagulantes empleados como una alternativa altamente eficiente y operativamente más sencilla. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la viabilidad del uso de biocoagulantes como estrategia sustentable para el tratamiento de aguas grises, especialmente cuando se prioriza la simplicidad del proceso y la preservación de las condiciones fisicoquímicas del agua tratada.

Los hallazgos de [Berbel et al. \(2021\)](#) evidencian el notable potencial del agua tratada como recurso estratégico para la agricultura, especialmente en contextos de estrés hídrico como el del campo andaluz. Con una demanda anual de riego que asciende a 3.912 millones de hm³, el volumen actualmente reutilizado representa apenas el 5.93 % del agua tratada, y solo el 2.5 % de esta se destina a usos agrícolas, siendo prioritaria su aplicación en jardines y campos de golf. Esta infrutilización contrasta con el alto grado de eficiencia que puede ofrecer el agua regenerada, cuyo tratamiento terciario garantiza niveles de calidad superiores incluso a los de algunos ríos españoles, conforme al Reglamento (UE) 2020/741. En términos económicos, la reutilización también presenta ventajas competitivas, con un coste estimado de 0.4 €/m³ frente a los 0.6–0.8 €/m³ del agua desalada, lo que la convierte en una alternativa más accesible para el riego agrícola.

Por su parte, [Anaya Meléndez et al. \(2022\)](#) demostró que los coagulantes naturales de yuca y camote, junto con el filtrado con carbón activado de cáscara de naranja, lograron una remoción de turbidez superior al 85% y mantuvieron el pH del agua tratada en rangos neutros. Estas condiciones permitieron una germinación del 100% en semillas de *Raphanus sativus*, sin evidencias de fitotoxicidad, lo que respalda la viabilidad de estas tecnologías alternativas para el tratamiento de aguas grises en contextos agrícolas y zonas con escasez hídrica; reafirmando su valor práctico y económico que además puede ampliarse a escalas mayores. En esta misma línea de aprovechamiento sostenible de residuos, [Basurto-Flores y Medina-Guerrero \(2023\)](#) evaluaron en su estudio dos biopolímeros naturales (pectina de cocona y quitosano de exoesqueletos de camarón), que alcanzaron una remoción de cromo hexavalente (Cr⁺⁶) superior al 98 % y sólidos suspendidos totales (SST) entre 96 % y 98 %, sin alterar significativamente el pH. Ambos biopolímeros mostraron alta eficiencia y rentabilidad para PYMEs del sector curtidor en el Perú, con ahorros anuales superiores a 800 USD. De esta manera, se confirma la aplicabilidad de soluciones naturales en contextos con recursos limitados, y se reafirma que a partir de las aguas grises, puede crearse un recurso muy importante para la economía, acorde a las condiciones actuales que exige la política de reciclaje a nivel mundial.

Además, la información obtenida coincide con lo expuesto por [Rodríguez et al. \(2022\)](#) sobre la eficacia de biopolímeros de tubérculos en la clarificación de aguas residuales y su bajo impacto ambiental, complementando el marco teórico sobre el potencial de los coagulantes naturales frente a los riesgos de los coagulantes químicos convencionales. No obstante, la presente investigación tiene limitaciones metodológicas que deben considerarse al interpretar los resultados. Por un lado, el estudio se centró en una sola fuente de agua gris y en una única especie vegetal (*raphanus sativus*), lo que restringe la generalización de los hallazgos a otros tipos de aguas residuales y cultivos. Por otro lado, el enfoque experimental se limitó a evaluar únicamente el porcentaje de germinación y la longitud radicular como indicadores de respuesta biológica. En consecuencia, se recomienda que futuras investigaciones amplíen el alcance incluyendo una mayor diversidad de fuentes de agua, especies vegetales y variables fisiológicas, tales como biomasa aérea y radicular, número de hojas, índice de vigor y marcadores de estrés, con el fin de proporcionar una visión más integral del impacto del agua tratada sobre el desarrollo vegetal.

Por último, una limitación metodológica del estudio a considerar es que, si bien se aplicaron análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de Tukey para identificar diferencias significativas entre tratamientos, no se reportó explícitamente la aplicación de pruebas de homogeneidad de varianzas. Si bien los coeficientes de variación fueron bajos en la mayoría de los casos, lo que sugiere cierta estabilidad interna en los datos, la verificación formal de este supuesto fortalecería la robustez estadística del análisis. Se recomienda que futuras investigaciones incluyan esta validación para complementar los análisis inferenciales y aumentar la rigurosidad del enfoque metodológico.



Conclusiones

Del estudio se concluye que los coagulantes naturales son eficientes, dado que tanto el almidón de yuca como el de camote, lograron remociones de turbidez superiores al 85 %, alcanzando hasta un 86.67 %, superando a los coagulantes naturales y químicos reportados en la literatura.

De los dos coagulantes estudiados el camote fue el más eficiente y significativo en la reducción de turbidez.

Con relación a la estabilidad del pH del agua tratada, esta se mantuvo en rangos neutros de 7.1 a 7.8, cumpliendo con los estándares de calidad ambiental, lo cual es importante para el riego agrícola, puesto que evita la necesidad de correcciones químicas posteriores.

En cuanto a la germinación y el crecimiento de *Raphanus sativus*, las semillas tratadas con agua gris filtradas presentaron un 100 % de germinación, sin signos de fitotoxicidad. Además, el tiempo medio de germinación fue mejor que con agua destilada con un 6.0 a 7.5 días.

El crecimiento radicular fue significativamente superior con algunos tratamientos, especialmente con yuca al 15 %, lo que sugiere un efecto estimulante del tratamiento sobre el desarrollo vegetal.

También se encontró que el carbón activado de cáscara de naranja no afectó de forma negativa el pH ni la calidad del agua, complementando el efecto de los coagulantes.

Se afirma que las tecnologías propuestas son económicas, sostenibles, accesibles y de bajo impacto ambiental, con potencial para su aplicación en regiones con escasez hídrica como Tacna, lo cual aporta al ODS en la promoción de la reutilización de aguas residuales.

Por último, el estudio se centró en una sola fuente de agua gris y una sola especie vegetal, por lo cual se recomienda ampliar el alcance en futuras investigaciones y, de esa manera, validar su aplicabilidad en distintos contextos y cultivos agrícolas, adicionando nuevas variables fisiológicas como biomasa, índice de vigor, entre otras, con el objetivo de ampliar la perspectiva de la reutilización.

Referencias

Aguilar Sánchez, J. de D., & Cubas Irigoín, N. (2021). Contaminación agrícola por uso de aguas residuales. *Revista Alfa*, 5(13), 65–77. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i13.98>

Anaya Meléndez, F., Espinosa Descalzo, E. N., Loayza Pérez, J. E., Zamudio Castillo, R. A., & Yáñez López, M. A. (2022). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de regadío. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 88(1), 52–62. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v88i1.375>

Aristizábal, J., Sánchez, T., & Mejía Lorío, D. (2007). *Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca* (Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.fao.org/4/a1028s/a1028s.pdf>

Basurto-Flores, N., & Medina-Guerrero, N. (2023). Evaluación técnico-económica del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres. *Ciencias Ambientales*, 57(2), [Junio–diciembre]. <http://dx.doi.org/10.15359/rca.57-2.2>

Berbel, J., Casielles, R., Expósito, A., Lorenzo, A., & Mesa Pérez, E. (2021). *El agua regenerada como fuente alternativa sostenible de riego en agricultura en Europa: El caso de Andalucía*. En XIII Congreso de Economía Agroalimentaria (pp. 53–58). Universidad Politécnica de Cartagena. <https://doi.org/10.31428/10317/10404>

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN]. (2023). *Estudio prospectivo sobre el estrés hídrico y la inseguridad alimentaria en el Perú [PDF]*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5511475/4909702-estudio-prospectivo-de-estres-hidrico-e-inseguridad-alimentaria-ceplan.pdf>

Cevallos Coox, N. N., Burgos Briones, G. A., & Córdova Mosquera, A. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicación Ciencia y Tecnología*, 16(2), 54–68. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>

Cid López, M. A. (2023). *Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido a partir de cáscara de naranja (Citrus x sinensis)* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/18284/1/Myriam%20Anabela%20del%20Cid%20L%C3%B3pez.pdf>

Cierto, L. E. O., Medina, E. M. E., Poma, J. M. A., Aliaga, W. C. L., Cierto, J. D. O., & Trinidad, M. Á. Q. (2023). Efecto de coagulantes y floculantes en la remoción de turbidez de aguas de ríos contaminados. *Agroindustrial Science*, 13(3), 127–134. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/5772/5816>



Cortés-Luna, A. G., Flores-Breceda, H., Vidales-Contreras, J. A., Marquez-Reyes, J. M., Esquivias-Fierro, A. del C., & Gómez-García, C. (2025). Evaluación de la eficiencia de coagulantes naturales en el tratamiento de aguas grises provenientes del lavado doméstico. *Scientia Agricolis Vita*, 1, <https://agricolis.uanl.mx/index.php/revista/articulo/view/25/44>

Gamba, M., Asllanaj, E., Raguindin, P. F., Glisic, M., Franco, O. H., Minder, B., Bussler, W., Metzger, B., Kern, H., & Muka, T. (2021). Nutritional and phytochemical characterization of radish (*Raphanus sativus*): A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 205–218. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.045>

Lara, R., Roque, L., & De Jesus, M. (2024). *Carbón activado de cáscara de naranja para la remoción de antimonio en aguas sintéticas a nivel laboratorio, Callao 2023* [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <https://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/8895/TESIS%20-%20LARA-ROOUE-DE%20JESUS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

La República. (2025). *Solo se trata adecuadamente 18,8% de las aguas residuales*. <https://www.larepublica.co/especiales/economia-verde-y-sostenibilidad/solo-se-trata-adecuadamente-18-8-de-las-aguas-residuales-4139583>

León Manchi, O. (2025). Eficiencia de *Opuntia ficus indica* y *Vicia faba* como coagulantes naturales en la remoción de la turbiedad de las aguas residuales del río Chumbao. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 6(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v6i2.3872>

Marín, J. (2019). *Obtención de carbón activado a partir de la cáscara de naranja por método de activación química para la adsorción de cloro y materia orgánica del agua, en la provincia de Jaén* [Tesis de licenciatura, Universidad de Lambayeque]. <https://core.ac.uk/download/335023475.pdf>

Ortegui, M., & Morales, G. (2024). *Eficiencia del carbón activado de la cáscara de plátano (*Musa paradisiaca* L.) y naranja (*Citrus x sinensis*) en la remoción de cadmio en aguas contaminadas* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/8117439a-85a8-4563-9299-ac8f4936cf63/content>

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Rodríguez, J., Montenegro, V., & Marín, N. (2022). Fabricación de polímeros a base de almidón de tubérculos panameños seleccionados. *Revista de Iniciación Científica*, 8(1), 28–34. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v8.13508>

Shukla, S., Al Mushaiqri, N., Al Subhi, H., Yoo, K., & Al Sadeq, H. (2020). Low-cost activated carbon production from organic waste and its utilization for wastewater treatment. *Applied Water Science*, 10(2), 1–9. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-020-1145-z>

Šerá, B. (2023). Methodological contribution on seed germination and seedling initial growth tests in wild plants. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2), 13164. <https://doi.org/10.15835/nbha51213164>

Videnza. (2024). *Manejo de los recursos hídricos en Tacna* [PDF]. Propuestas del Bicentenario. https://propuestasdelbicentenario.pe/wp-content/uploads/2024/06/Informe_RRHH_Tacna_vf.pdf

Ynofuente Quispe, L., Flores Condori, M., & Vigo Rivera, J. E. (2022). Residuos de papa como auxiliar del sulfato de aluminio para clarificación de agua. *UNED Research Journal*, 14(2), 1–10. <https://doi.org/10.22458/urj.v14i2.4282>