



Artículo original / Original article

Mejoramiento del agua subterránea mediante filtrado con carbón activado de *Crescentia cujete* en el sector Cumbacillo

Groundwater improvement through activated carbon filtration from *Crescentia cujete* in the Cumbacillo sector

Wagner Esteban Bartra-García ^{1*}; Luis Alberto Ordoñez Sánchez ¹

¹ Universidad César Vallejo, Tarapoto, Perú

Recibido: 18/10/2024

Aceptado: 21/11/2024

Publicado: 30/01/2025

*Autor de correspondencia: bartraesteban@gmail.com

Resumen: Esta investigación se enmarca en el ODS N° 6, "Agua limpia y saneamiento", mediante la evaluación de un sistema de filtrado con carbón activado obtenido del epicarpio de *Crescentia cujete*, con el fin de mejorar la calidad del agua subterránea en el sector Cumbacillo, Tarapoto. El objetivo fue analizar los cambios en las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua antes y después del tratamiento, así como determinar las proporciones óptimas de los componentes del filtro. El estudio, de tipo básico y enfoque cuantitativo, se desarrolló bajo un diseño cuasiexperimental. Se empleó una muestra de 35 litros de agua subterránea. Los resultados mostraron una reducción significativa de la turbidez y un pH dentro de los rangos aceptables. La conductividad y la dureza total no variaron de manera significativa, mientras que la alcalinidad presentó ligeros cambios adecuados para la regulación del pH. En cuanto a los parámetros microbiológicos, los coliformes totales y termotolerantes se redujeron a niveles no detectables (<1.8 NMP/100 mL). En conclusión, el carbón activado de *Crescentia cujete* resultó eficaz para mejorar la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua subterránea, cumpliendo los límites normativos y constituyendo una alternativa viable para el tratamiento de este recurso.

Palabras clave: calidad de agua; tratamiento del agua; pozo

Abstract: This research is part of SDG 6, "Clean Water and Sanitation," through the evaluation of a filtration system using activated carbon obtained from the epicarp of *Crescentia cujete*, with the aim of improving groundwater quality in the Cumbacillo sector of Tarapoto. The objective was to analyze changes in the physicochemical and microbiological characteristics of the water before and after treatment, as well as to determine the optimal proportions of the filter components. The study, which was basic and quantitative in nature, was conducted using a quasi-experimental design. A 35-liter groundwater sample was used. The results showed a significant reduction in turbidity and a pH within acceptable ranges. Conductivity and total hardness did not change significantly, while alkalinity showed slight changes suitable for pH regulation. Regarding microbiological parameters, total and thermotolerant coliforms were reduced to undetectable levels (<1.8 MPN/100 mL). In conclusion, *Crescentia cujete* activated carbon was effective in improving the physicochemical and microbiological quality of groundwater, meeting regulatory limits and constituting a viable alternative for the treatment of this resource.

Keywords: water quality; groundwater (well); water treatment

1. Introducción

Las aguas subterráneas representan la mitad del suministro de agua doméstica global y el 25% del riego agrícola a nivel mundial (ONU, 2022). El cambio climático y el aumento demográfico influyen en la cantidad y calidad del agua, exacerbando la distribución desigual de este recurso a nivel mundial (Schaum et al., 2015). El incremento anual en la demanda de agua, combinado con la escasez inducida por el cambio climático, incrementará la dependencia de las aguas subterráneas (ONU, 2022). A pesar de su crucial importancia, este recurso natural sufre subestimación, contaminación y una gestión inadecuada. Sánchez San Román (2020) señala que la contaminación del agua de pozo, es causada principalmente por la acción humana, la hace total o parcialmente inutilizable para su aplicación prevista. El 80% de las aguas residuales globales se descargan sin tratamiento previo al medio ambiente, subrayando la urgencia de investigar métodos eficaces para su gestión y tratamiento adecuado (UNESCO, 2017). En relación a esta problemática, Pabón Guerrero et al. (2020) indican que la contaminación de aguas subterráneas por materia orgánica, coloides, minerales y metales pesados afecta negativamente a los cultivos, transfiriéndoles olores y sabores desagradables, reduciendo así su calidad para el consumo humano. De este modo, este estudio se enfoca en la búsqueda de una alternativa al tratamiento de las aguas subterráneas, puesto que generalmente las personas piensan que con la perforación de un pozo y la extracción de esas aguas resolverán el problema de abastecimiento sin considerar la calidad del agua, el cual suele tener parámetros atípicos para el consumo humano (WHO, 2024). Por ello se propone el uso de un filtro de carbón activado elaborado a partir del epicarpio del fruto de *Crescentia cujete*, conocido como Wingo en la ciudad de Tarapoto. Esta iniciativa ofrece una opción diferente para el tratamiento del agua subterránea, aprovechando el carbón vegetal. Dado que el consumo de agua requiere tanto cantidad como calidad, la cantidad puede obtenerse mediante la explotación de fuentes subterráneas, mientras que la calidad puede asegurarse mediante la aplicación de un filtro de carbón activado. El amplio uso de filtros de carbón activado en la purificación de agua, tanto a nivel doméstico como industrial, es respaldada por su capacidad para abordar problemas de sabor, olor e impurezas orgánicas y metálicas (Maddah, 2020).

2. Materiales y métodos

Para el desarrollo del presente estudio, se siguieron los siguientes procedimientos:

Lugar de estudio

La investigación se llevó a cabo en el sector Cumbacillo, distrito de Tarapoto, provincia y departamento de San Martín (Perú), durante el periodo enero – agosto de 2024.



Figura 1. Mapa de ubicación del punto de muestreo, en el sector Cumbacillo - Tarapoto

Tipo y diseño de investigación

El estudio fue de tipo básico, con un enfoque cuantitativo y un diseño cuasiexperimental, al comparar los parámetros del agua antes y después de su tratamiento con carbón activado de *Crescentia cujete*.

Población y muestra

La población estuvo conformada por el agua subterránea del sector Cumbacillo. La muestra consistió en 35 litros de agua extraídos de un pozo artesanal, los cuales fueron analizados antes y después del filtrado.

Preparación del carbón activado

Se recolectaron frutos maduros de *Crescentia cujete* (Wingo), retirando y secando las cáscaras durante 5 días. Posteriormente, se sometieron a carbonización a 400 °C por 2 h, obteniéndose carbón que fue sometido a activación química con H₂SO₄ al 40% durante 24 h, lavado repetidamente hasta alcanzar un pH neutro y secado a 120 °C. Finalmente, el material se procesó en dos presentaciones: granular y en polvo.

Elaboración de filtros

Se emplearon envases plásticos de 1.5 L perforados y acondicionados con boquillas y mangueras. Los filtros se conformaron en capas de gravilla gruesa, gravilla fina, arena gruesa, arena fina, algodón (5 g) y carbón activado (50 g, 75 g y 100 g en sus formas granular o en polvo). Se establecieron seis tratamientos experimentales, más un testigo sin filtración.

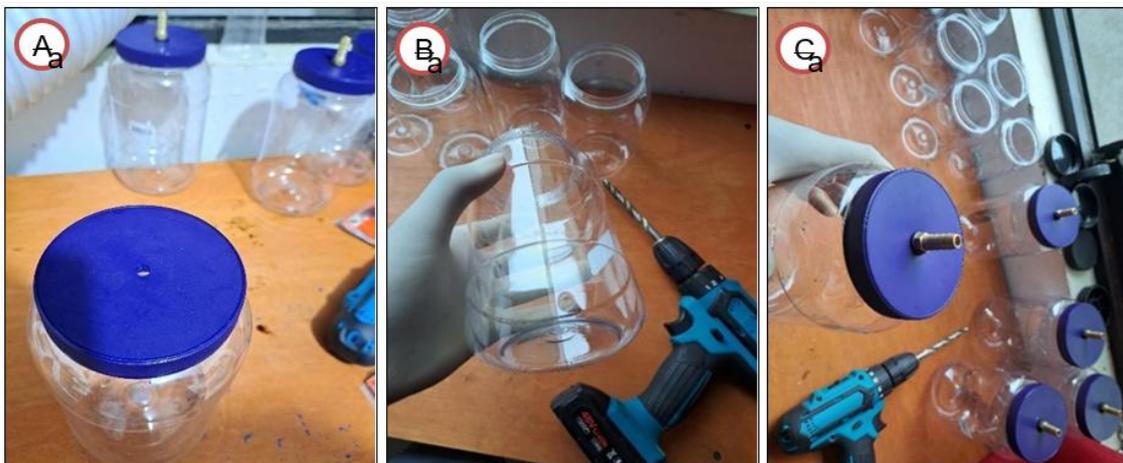


Figura 2. Elaboración de filtro

Recolección y filtrado de la muestra

El agua extraída del pozo (30 L) fue distribuida en los filtros, aplicando 5 L por tratamiento. Posteriormente, las muestras filtradas (4.2 L cada una) se conservaron en envases estériles a ≤6 °C y fueron remitidas al laboratorio acreditado para su análisis.



Figura 3. Recolección de las muestras para cada tratamiento

Análisis de parámetros

Los parámetros fisicoquímicos (pH, turbidez, dureza, alcalinidad, conductividad, DBO, DQO, sólidos suspendidos, color) y microbiológicos (coliformes totales y termotolerantes) fueron determinados siguiendo los protocolos del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017) y la normativa peruana vigente (D.S. N° 004-2017-MINAM) (Ministerio del Ambiente, 2017).

Análisis de datos

Los resultados pre y postratamiento se procesaron en Microsoft Excel 2021 y SPSS v30. Se aplicó la prueba de normalidad Shapiro-Wilk, la prueba t de Student para muestras pareadas y un modelo lineal general univariado (GLM), considerando un nivel de significancia del 95% ($p < 0,05$). Asimismo, se calculó la eficiencia de remoción para cada parámetro.

3. Resultados

3.1. Características pre tratamiento del agua de pozo del sector Cumbacillo, Tarapoto 2024

El análisis del agua subterránea del sector Cumbacillo arrojó un valor de conductividad eléctrica de 384.1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que está muy por debajo del límite máximo permisible (LMP) de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto indica que el agua tiene baja salinidad y un contenido reducido de iones disueltos.

Tabla 1. Conductividad eléctrica inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	384.1	1500

El análisis del pH del agua subterránea arrojó un valor de 7.87, que se encuentra dentro del rango permitido de 6.5 a 8.5 según el LMP. Lo que indica que el agua tiene una ligera alcalinidad, pero está dentro de los parámetros de calidad.

Tabla 2. El potencial de hidrogeno inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
pH	Uni. pH	7.87	6.5 a 8.5

La turbidez inicial fue de 9.7 NTU, superando el límite máximo permisible de 5 NTU.

Tabla 3. Turbidez inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
Turbidez	NTU	9.7	5

La alcalinidad total inicial fue de 100.8 mg/L, indicando una buena capacidad de amortiguación frente a cambios de pH.

Tabla 4. Alcalinidad total inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
Alcalinidad total	mg/L	100.8	*

Los sólidos suspendidos totales (TSS) fueron <2.2 mg/L, reflejando una concentración muy baja de partículas suspendidas en el agua.

Tabla 5. Sólidos suspendidos totales inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
TSS	mg/L	<2.2	*

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) resultó en <1.0 mg/L, lo que indica baja presencia de materia orgánica biodegradable.

Tabla 6. Demanda bioquímica de oxígeno inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
DBO	mg/L	<1.0	*

La demanda química de oxígeno (DQO) fue de <5.0 mg/L, reflejando una baja concentración de compuestos orgánicos oxidables químicamente.

Tabla 7. Demanda química de oxígeno inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
DBO	mg/L	<5.0	*

La dureza total fue de 189.72 mg/L, por debajo de los LMP que es 500 mg/L, lo que indica dureza moderada apta.

Tabla 8. Dureza total inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
Dureza total	mg/L	189.72	500

El color del agua fue < 5 UC, muy inferior al límite máximo permisible de 15 UC, indicando un agua clara y sin contaminantes visuales.

Tabla 9. Color inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
Color	UC	<5	15

Los coliformes totales arrojaron 46 NMP/100 mL, excediendo el límite de <1.8 NMP/100 mL, lo que indica contaminación microbiológica.

Tabla 10. Coliformes totales inicial del agua de pozo extraído del sector Cumbacillo

Parámetro	Unidad de medida	Resultado	LMP
Coliformes totales	NMP/100mL	46	< 1.8

3.2. Características post tratamiento con sistema de filtro con base de carbón activado de *Crescentia cujete* del agua pozo del sector Cumbacillo, Tarapoto 2024

El análisis mostró que los tratamientos aplicados no generaron variaciones en los valores de sólidos suspendidos totales, los cuales se mantuvieron constantes en <2.2 mg/L para todas las pruebas, incluido el testigo.

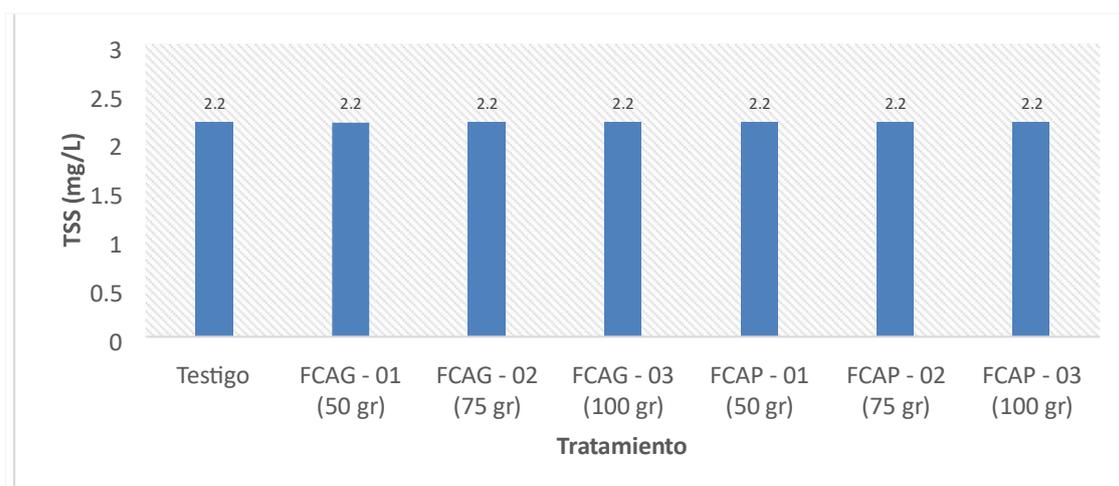


Figura 4. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir TSS del agua de pozo en el sector Cumbacillo

Los tratamientos no generaron cambios en la DBO, manteniéndose en <1.0 mg/L para todas las pruebas, incluido el testigo.

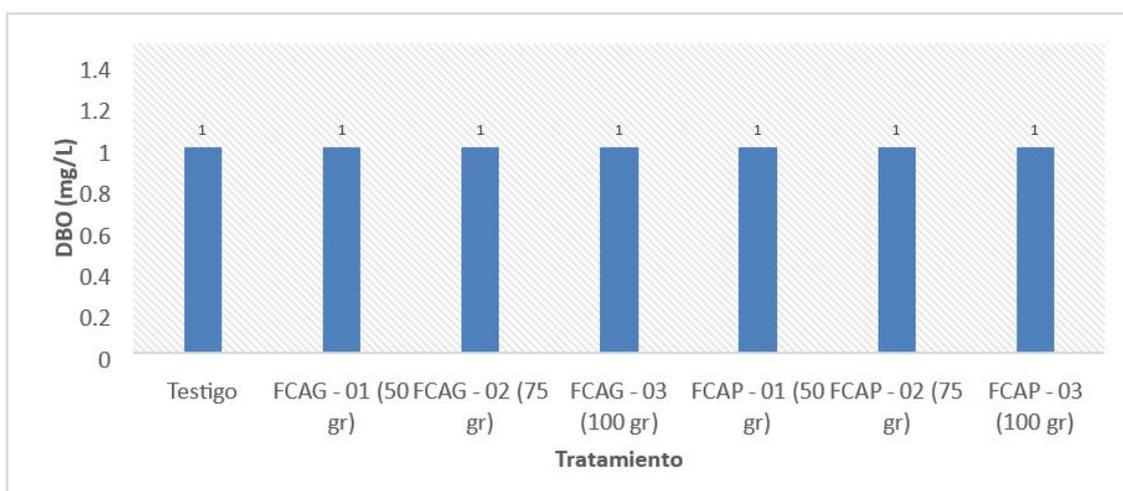


Figura 5. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir DBO del agua de pozo en el sector Cumbacillo

Los valores de DQO permanecieron constantes en <5 mg/L en todos los tratamientos, sin diferencias respecto al testigo.

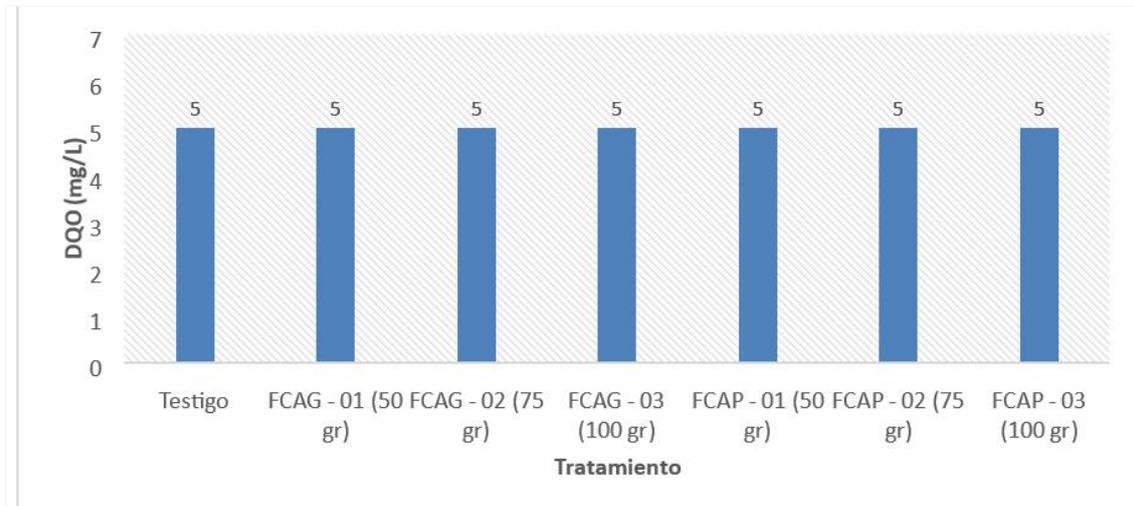


Figura 6. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir DQO del agua de pozo en el sector Cumbacillo

La dureza total no varió con los tratamientos, registrándose un valor constante de 189.72 mg/L, igual que en el testigo.

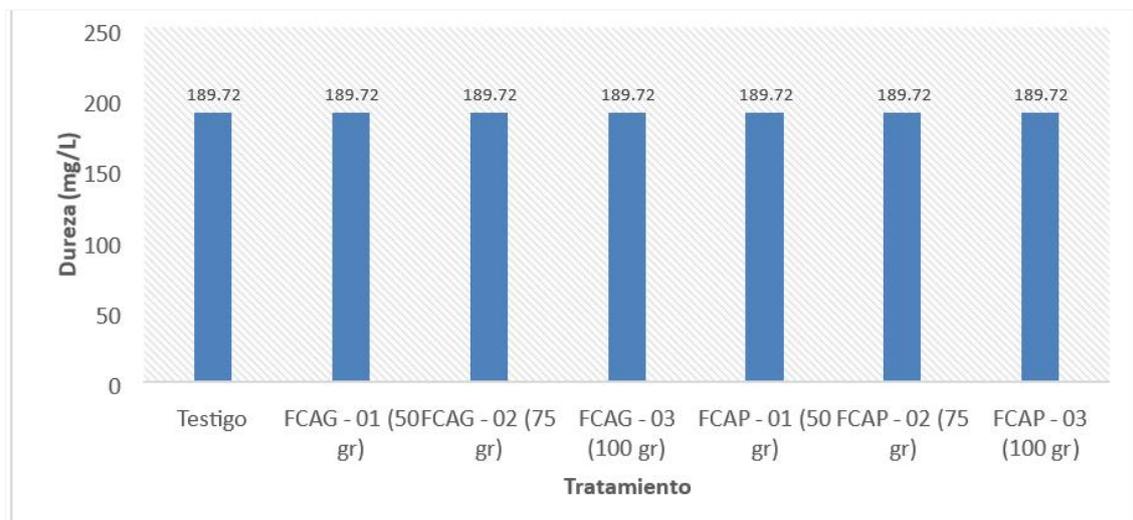


Figura 7. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir la dureza del agua de pozo en el sector Cumbacillo

El color del agua se mantuvo en 5 UC en todas las pruebas, sin cambios respecto al testigo.

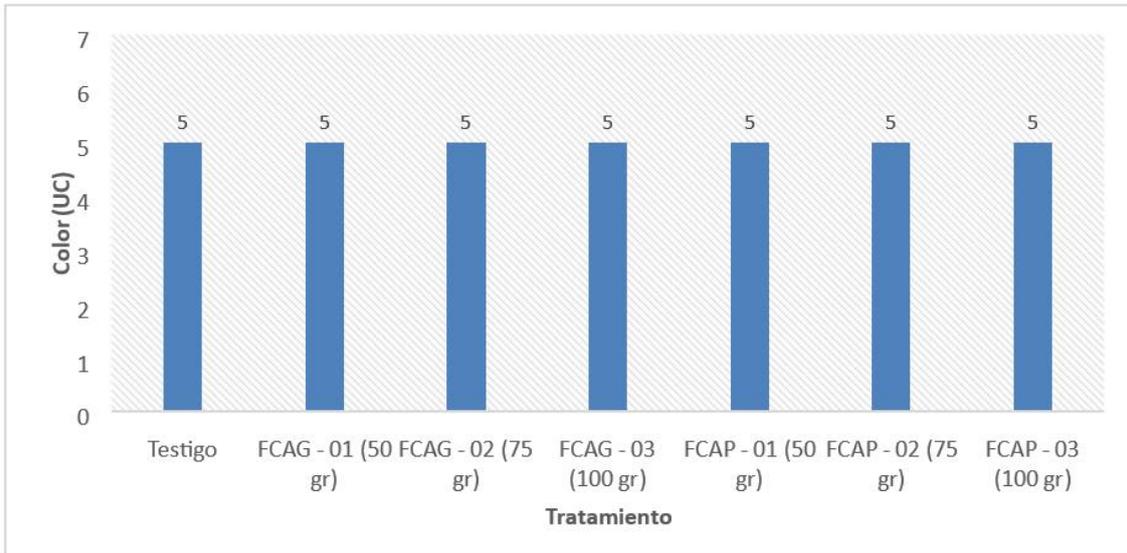


Figura 8. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir color del agua de pozo en el sector Cumbacillo

Los tratamientos redujeron significativamente los coliformes totales de 46 NMP/100 mL a <1.8 NMP/100 mL en todos los casos.

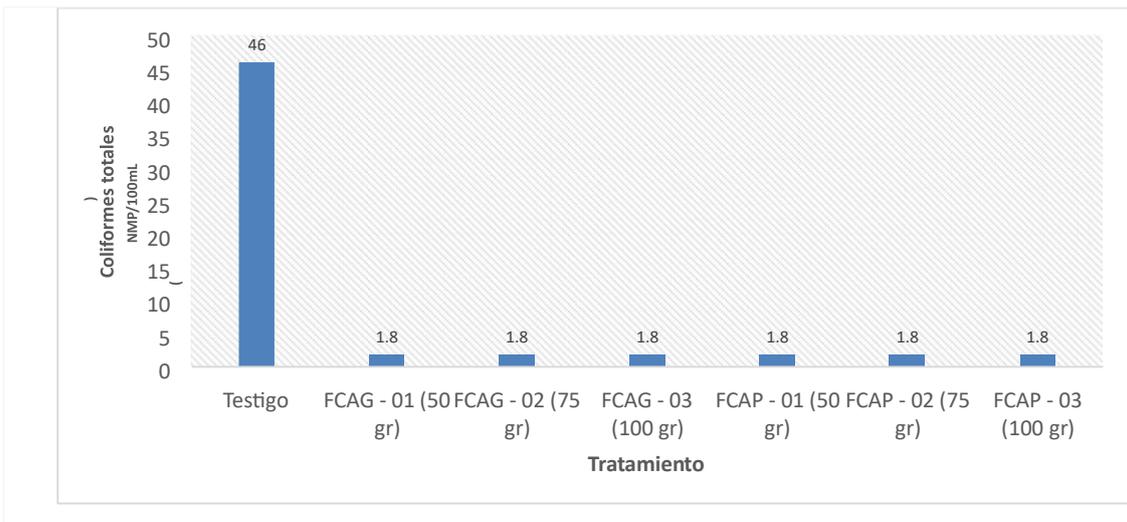


Figura 9. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir coliformes totales del agua de pozo en el sector Cumbacillo

Los coliformes termotolerantes disminuyeron de 2 NMP/100 mL a <1.8 NMP/100 mL con todos los tratamientos.

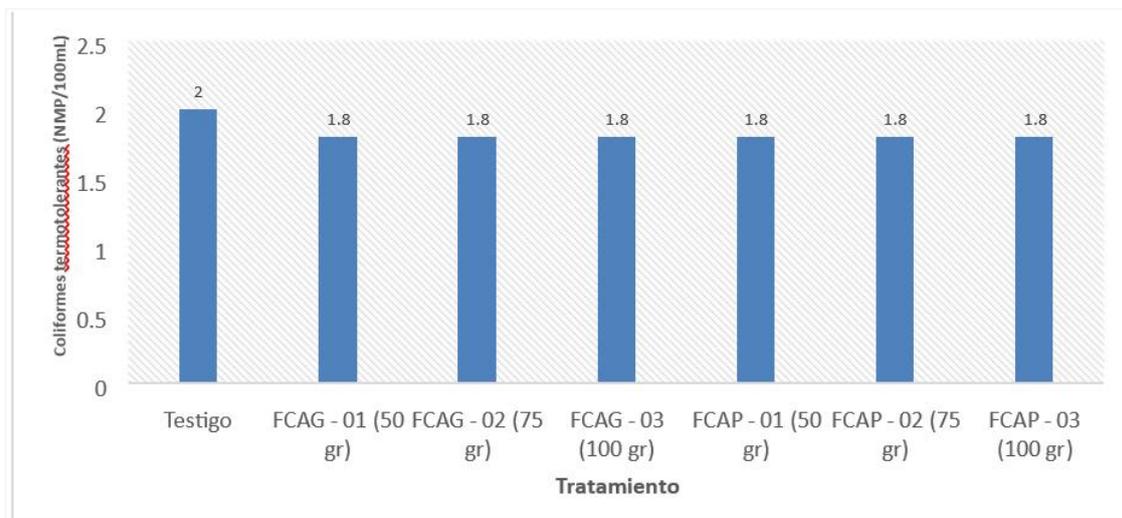


Figura 10. Análisis de la eficiencia de filtros y dosis para reducir coliformes termotolerantes del agua de pozo en el sector Cumbacillo

3.3. Proporciones de componentes arena y gravilla para filtros para el mejoramiento del agua subterránea del sector Cumbacillo, Tarapoto 2024

Se definieron las proporciones de los componentes arena y gravilla, tanto gruesa como fina, basándose en la altura total útil del envase principal que contendrá los materiales. Cada componente fue calculado en términos de altura, peso en base a un porcentaje específico teniendo en cuenta las propiedades o capacidad del componente, asegurando una distribución uniforme y lógica en todos los filtros. La gravilla gruesa y fina, que representan el 55% del volumen total del filtro (410 g de gravilla gruesa y 510 g de gravilla fina), desempeña un papel clave en la etapa inicial de filtración, reteniendo partículas grandes presentes en el agua. Por otro lado, las capas de arena, que constituyen el 45% restante del volumen (440 g de arena gruesa y 400 g de arena fina), realizan la filtración intermedia, atrapando partículas más pequeñas y acondicionando el agua para la etapa final. Finalmente, el agua pasa al carbón activado de Crescentia cujete, encargado de la purificación final, asegurando un agua de mayor calidad.

Tabla 11. Definición de proporciones de componentes para filtro

Componente	Altura de filtro (cm)	Peso (gr)	Porcentaje (%)
Gravilla gruesa	3.00	410	25%
Gravilla fina	3.60	510	30%
Arena Gruesa	3.00	440	25%
Arena fina	2.40	400	20%
Total	12.00	1760	100%

4. Discusión

Las condiciones iniciales del agua analizada en esta investigación presentaron valores de TSS <2.2 mg/L, DBO <1 mg/L, DQO <5 mg/L y color <5 UC, los cuales se encuentran por debajo del límite cuantificable según los métodos analíticos de laboratorio empleados. En contraste, Arias & Gonzabay (2022) llevaron a cabo el diseño y evaluación de un filtro de grava para la potabilización de agua subterránea en una comunidad rural. En los análisis preliminares del agua subterránea, reportaron un color de 25 UC, una turbidez de 2.35 NTU y TDS de 763 mg/L. La DBO inicial fue de 0.26 mg/L, mientras que la DQO alcanzó los 11 mg/L. Estos resultados destacan la necesidad de optimizar los procesos de filtración para garantizar una mejora integral en la calidad del agua tratada.

En relación con los parámetros de pH y turbidez, los resultados obtenidos tras el post tratamiento fueron satisfactorios. El pH mostró mejoras leves pero consistentes en la mayoría de los tratamientos, indicando un ajuste gradual hacia valores óptimos. La turbidez evidenció una reducción significativa, destacando el tratamiento FCAP-02, donde disminuyó de 9.7 NTU a 0.3 NTU. Este cambio refleja una notable eficiencia en la clarificación del agua, validada por un análisis estadístico con un valor de significancia de $p < 0.01$. Este resultado es coherente con el estudio de Shupingahua & Flores (2021), quienes observaron una variación estadísticamente significativa en los niveles de pH tras el uso de un sistema de aireación con bandejas carbón activado de coco, aunque los valores no alcanzaron los estándares normativos. Respecto a la turbidez, su investigación también reportó una reducción significativa, aunque sin detallar el nivel alcanzado. Esta comparación posiciona el resultado como altamente competitivo, especialmente en contextos donde la reducción de turbidez es prioritaria para el cumplimiento de normativas.

Por otro lado, los resultados referentes a la alcalinidad total mostraron fluctuaciones que variaron en función de los tratamientos aplicados, evidenciando tanto incrementos como disminuciones. En cuanto a la conductividad eléctrica, el análisis reveló una notable estabilidad a lo largo de los distintos tratamientos. En este sentido, Vilca (2021) señaló en su investigación que, aunque la conductividad inicial del agua cumplía con los límites permisibles establecidos, el tratamiento con carbón activado de tallos de quinua no generó cambios significativos en este parámetro, manteniéndose prácticamente sin variación respecto al estado inicial.

La dureza del agua subterránea, registrada en 189.72 mg/L tanto en el testigo como en los tratamientos, se encuentra dentro del LMP (500 mg/L) y clasificada como agua dura. Aunque esto no afecta significativamente la calidad ni requiere ajustes adicionales en el sistema de tratamiento, su control es relevante en ciertos contextos. Según Ghanbarizadeh et al. (2022), el carbón activado demostró una capacidad limitada para reducir la dureza del agua, logrando una remoción del 15.67% en agua subterránea a una concentración de 40 g/L en su forma natural. No obstante, su eficiencia mejoró en agua potable tras una modificación secuencial con NaCl y HCl, alcanzando una reducción del 41.53%, lo que representa un incremento del 25.86%.

En cuanto a los parámetros microbiológicos, se evidenció una eficiencia de eliminación de coliformes totales y termotolerantes cercana al 99%. Este resultado refleja un desempeño altamente efectivo en el proceso de mejoramiento del agua. Particularmente, el parámetro de coliformes totales mostró una mejora significativa, reduciéndose de 49 NMP/100 mL a < 1.8 NMP/100 mL, lo cual destaca como un indicador clave de la calidad microbiológica alcanzada. Por otro lado, Vilca (2021) evaluó un filtro con carbón activado elaborado a partir de tallos de quinua para la purificación de aguas de pozo en Puno. Inicialmente, se reportaron valores elevados de coliformes termotolerantes (1100 NMP/100 mL) y *E. coli* (930 NMP/100 mL) en las muestras analizadas, superando significativamente los límites permisibles. Este estudio destaca la efectividad del filtro en dosis de 3 g, 5 g y 7 g/L, logrando reducciones en los coliformes termotolerantes a < 3 NMP/100 mL con las dosis de 5 g y 7 g/L, cumpliendo con los estándares nacionales.

A partir del análisis realizado, se determinó que los tratamientos FCAG-01 y FCAP-02 son los más eficientes en función del tipo de carbón y la dosis utilizada. En particular, el tratamiento FCAP-02 destacó como el más efectivo, empleando 75 g de carbón activado en polvo, lo que permitió optimizar los resultados en términos de eliminación de contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos. En contraste con Góngora & Llanos (2020), donde evaluaron la eficiencia del filtro de carbón activado de mauritia flexuosa, en el tratamiento de agua. Donde evidencio que su tratamiento T3a constituida por 100 gramos de CA de tipo granular presenta una mayor eficiencia, determinado que la eficiencia promedio del tratamiento es del 74%, teniendo una remoción del color del 72%, turbiedad 89.4%, coliformes totales 93.17%, coliformes termotolerantes 89.81% y *Escherichia coli* del 86.6%.

En el presente estudio se plantea un diseño de sistema de filtración con proporciones específicas de 25% para gravilla gruesa (3 cm), 30% para gravilla fina (3.6 cm), 25% para arena gruesa (3 cm) y 20% para arena fina (2.4 cm). Estas proporciones se definieron considerando criterios de optimización del flujo hidráulico, retención de partículas y compatibilidad con las dimensiones del envase utilizado. El diseño busca garantizar un equilibrio entre funcionalidad y eficiencia, priorizando un flujo uniforme y la máxima capacidad de retención de partículas antes de la etapa de adsorción en carbón activado. En comparación, el estudio de Visbal & Rozo (2018) presenta configuraciones similares, con estratificaciones que incluyen grava, arena y carbón activado, aunque con diferencias notables en los espesores de los materiales. Este trabajo reporta el uso de capas de grava con espesores de 5 cm tanto para la grava de soporte como para la grava fina. Además, las capas de arena se diseñaron con espesores significativamente mayores, entre 40 y 45 cm, optimizando la remoción de partículas más pequeñas y la turbidez. Finalmente, incorporaron una capa de carbón activado de 5 cm como etapa final de purificación. Estas configuraciones demostraron ser efectivas, logrando remociones significativas de parámetros como color, turbidez y concentración de hierro, alcanzando niveles permisibles para consumo humano.

5. Conclusiones

En cuanto al diseño y configuración del filtro, las proporciones de arena y gravilla utilizadas desempeñaron un papel crucial en la fase inicial de filtrado, al retener partículas grandes y acondicionar el agua para la etapa de purificación final con CA.

Se determinaron las características (físicoquímicas y microbiológicas) del agua subterránea del sector Cumbacillo en pre y postratamiento analizando un total de 11 parámetros.

Se determinó una eficiencia notable en la mejora de la calidad del agua subterránea. La turbidez, disminuyó significativamente a valores dentro del límite permisible, con una eficiencia máxima del 96.91%. El pH se mantuvo dentro del rango aceptable (6.5 a 8.5), con variaciones mínimas según el tipo y dosis del carbón activado. La conductividad no presentó cambios estadísticamente significativos, la alcalinidad presentó variaciones, con incrementos y disminuciones, pero se mantuvo dentro de niveles adecuados para la regulación del pH. La dureza total también se mantuvo constante en 189.72 mg/L, sin mejora o cambio notable; DBO, DQO, TSS y color no mostraron valores relevantes desde el primer análisis (Testigo). En el ámbito microbiológico, los resultados fueron igualmente alentadores, los coliformes totales y termotolerantes, inicialmente en niveles altos, fueron reducidos a valores no detectables (<1.8 NMP/100 mL), cumpliendo así con los LMP, reflejando una mejora sustancial en la seguridad microbiológica del agua. Estos hallazgos destacan la efectividad del carbón activado de Crescentia cujete en la remoción de contaminantes microbiológicos.

El tratamiento con carbón activado de *Crescentia cujete*, demostró ser efectiva para mejorar la calidad del agua. Se lograron reducciones significativas en parámetros microbiológicos y físico-químicos, cumpliendo con el objetivo establecido, y demostrando la viabilidad de esta tecnología como una viable.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribución de autores

B-G, W. E. y O-S, L. A.: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, curación de datos escritura (preparación del borrador final).

Referencias bibliográficas

- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23.^a ed.). Scientific Research An Academic Publisher. <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2459667>
- Arias, B., & Gonzabay, J. (2022). *Propuesta de diseño y estudio de un filtro de grava para potabilizar el agua subterránea para el consumo en una finca ubicada en la vía Progreso-Playas* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22783>
- Ghanbarizadeh, P., Parivazh, M. M., Abbasi, M., Osfouri, S., Dianat, M. J., Rostami, A., Dibaj, M., & Akrami, M. (2022). Performance Enhancement of Specific Adsorbents for Hardness Reduction of Drinking Water and Groundwater. *Water*, 14(17), 2749. <https://doi.org/10.3390/w14172749>
- Góngora, R. C., & Llanos, C. L. (2020). *Eficiencia del filtro de carbón activado de mauritia flexuosa, en el tratamiento de agua cruda del caserío Medellín, Moyobamba, 2020* [Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/73006/Gongora_RRC-Llanos_CCL-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maddah, H. A. (2020). Adsorption Isotherm of NaCl from Aqueous Solutions onto Activated Carbon Cloth to Enhance Membrane Filtration. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(1), 69-78. [https://doi.org/https://doi.org/10.6180/jase.202003_23\(1\).0009](https://doi.org/https://doi.org/10.6180/jase.202003_23(1).0009)
- Ministerio del Ambiente. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM*, 10-19. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- ONU. (2022). *El agua*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/global-issues/water>
- Pabón Guerrero, S. E., Benítez Benítez, R., Sarria Villa, R. A., & Gallo Corredor, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Sánchez San Román, J. (2020). Contaminación de las aguas subterráneas. *Hidrología*, 1-6. <https://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf>
- Schaum, C., Lensch, D., & Cornel, P. (2015). Water reuse and reclamation: a contribution to energy efficiency in the water cycle. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 5(2), 83-94. <https://doi.org/10.2166/wrd.2014.159>
- Shupingahua, L., & Flores, P. (2021). *Tratamiento de las aguas subterráneas en una comunidad de la selva peruana Caynarachi, Lamas, San Martín, 2021* [Universidad Nacional de San Martín]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/6369>
- UNESCO. (2017). *Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, cifras y datos* (p. 12). Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247553>
- Vilca, N. (2021). *Filtro con carbón activado de tallos de quinua para la purificación de aguas de pozo, Puno - 2021* [Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <https://repositorio.uac.edu.pe/handle/20.500.12692/88796>

- Visbal, L., & Rozo, A. (2018). *Diseño de un sistema de filtración continua arena-carbón activado como herramienta didáctica en el laboratorio de operaciones unitarias* [Universidad de San Buenaventura]. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/d6a6e40f-f369-4f86-%0A8461-422ffd32a75c>
- WHO. (2024). *Guidelines for drinking-water quality: small water supplies* (1.^a ed.). World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/375822>