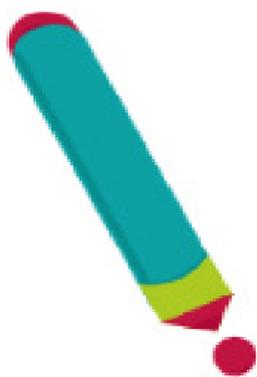


# SÍNTESIS DE BIOCARBÓN A PARTIR DE RESIDUOS DE PHASEOLUS VULGARIS L. PARA UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA POTENCIADO CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA.

Gabriela Rocha Chauca,  
Nataly Hidalgo Bermeo  
Bryan Medina Rodriguez.

Universidad Yachay Tech



*Fecha de recepción: 20 de febrero de 2024*

DOI: <https://doi.org/10.22267/huellas.251121.25>

## Resumen.

La gestión efectiva de los desechos sólidos es fundamental para proteger nuestro entorno y asegurar un futuro sostenible. A nivel mundial, el sector agrícola contribuye significativamente a la contaminación del suelo y el agua, a pesar de su importante aporte al Producto Interno Bruto (PIB) global, especialmente en países en desarrollo como Ecuador.

Los desechos agrícolas generados después de la producción no se gestionan adecuadamente ni se aprovechan eficientemente durante el procesamiento y la recolección de los productos. Este estudio se enfoca en la obtención de carbón activado a partir de residuos de las vainas y ramas pequeñas del frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) y su aplicación para purificación de agua. Para obtener carbón activado, se recolectaron vainas de frijol, las cuales fueron sometidas a carbonización mediante un proceso de pirolisis y activación química con ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) a  $700^\circ C$ , seguido de un proceso de lavado. Las muestras fueron caracterizadas mediante Espectroscopía de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR) y Difracción de Rayos X (XRD). Se realizó un análisis gravimétrico preliminar para evaluar la viabilidad técnica del proceso. Además, se mejoraron las propiedades del carbón activado integrando nanopartículas de plata (NPs-Ag), aumentando así su eficacia en la eliminación de contaminantes y su capacidad bactericida. Este carbón activado mejorado se utilizó en filtros para análisis microbiológico del agua, mostrando una reducción del pH de 8.2 a 7.45 y una disminución del 70% de microorganismos. La eficiencia de obtención del carbón activado alcanzó el 63.83%; sin embargo, se identificó la necesidad de optimizar el proceso. Los resultados del presente trabajo muestran la factibilidad de obtención de carbón activado a partir de los residuos del frejol, mostrando su utilidad para la purificación de agua, especialmente al incorporar nanopartículas de plata. Estos hallazgos muestran un posible camino sostenible para enfrentar los desafíos de gestión de residuos agrícolas y mejorar el acceso al agua pura en comunidades vulnerables.

**Palabras Clave:** Frejol, carbón activado, desechos sólidos, sostenibilidad, ambiente, filtración, agua.

## Abstract.

The effective management of solid waste is paramount to safeguarding our environment and ensuring a sustainable future. Globally, the agricultural sector significantly contributes to soil and water pollution, despite its substantial contribution to the global Gross

## SYNTHESIS OF BIOCHAR FROM PHASEOLUS VULGARIS L. WASTE FOR A SILVER NANOPARTICLE ENHANCED WATER FILTRATION SYSTEM.

Domestic Product (GDP), particularly in developing countries like Ecuador. Agricultural waste generated post-production is often inadequately managed and underutilized during processing and product collection. This study focuses on obtaining activated carbon from bean pod residues (*Phaseolus Vulgaris* L.) and its application for water purification. To obtain activated carbon, bean pods were collected, subjected to carbonization and chemical activation with phosphoric acid ( $H_3PO_4$ ) at  $700^\circ C$ , followed by washing.

Samples were characterized using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and X-ray Diffraction (XRD). A preliminary gravimetric analysis was conducted to assess the technical feasibility of the process. Furthermore, the properties of activated carbon were enhanced by integrating silver nanoparticles (NPs-Ag), thereby increasing its effectiveness in contaminant removal and bactericidal activity. This enhanced activated carbon was employed in water microbiological analysis filters, resulting in a pH reduction from 8.2 to 7.45 and a 70% decrease in microorganisms. The efficiency of activated carbon extraction reached 63.83%; however, process optimization was identified as necessary. Notably, the most promising results in water purification were observed with the incorporation of silver nanoparticles. These findings support the viability of a sustainable solution to address agricultural waste management challenges and improve access to clean water in vulnerable communities.

**Keywords:** Bean, activated carbon, solid waste, sustainability, environmental, filtration, water.

## I. INTRODUCCIÓN.

En el marco de la agenda 2030 y sus objetivos de desarrollo sostenible, la gestión de desechos sólidos orgánicos es crucial para la salud del planeta y el bienestar comunitario. El crecimiento poblacional ha incrementado la producción agrícola y, con ello, la generación de desechos orgánicos, agravando la contaminación del suelo y el agua (De León Duarte, 2022).

Históricamente, la eliminación de desechos no era problemática debido a la baja densidad poblacional y amplias áreas de depuración natural. Sin embargo, la modernización ha aumentado la cantidad y complejidad de los desechos, dificultando su gestión. La sobrepoblación y el consumismo han llevado a una acumulación masiva de residuos, creando una necesidad urgente de alternativas efectivas para su manejo (Aylwin Ríos, 2017).

Entre los principales métodos convencionales de gestión de residuos agrícolas, se encuentran la quema no controlada y la disposición de desechos en tiraderos a cielo abierto, las cuales continúan ocasionando problemas graves de contaminación, enfermedades y proliferación de vectores (Reina Orosco, 2015). La incineración de residuos, por ejemplo, produce sustancias tóxicas y cancerígenas, como dioxinas y furanos. Además, la descomposición de materia orgánica genera gases de efecto invernadero, como metano y dióxido de carbono, y contribuye a la presencia de contaminantes en el suelo y en fuentes de agua superficial y subterránea (Vega Alonso, 2019).

El sector agrícola, que representa el 3.6% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, es un gran generador de residuos sólidos orgánicos (Salgado Ortiz, 2020). En Latinoamérica y el Caribe, la producción alcanza aproximadamente las 430 mil toneladas diarias (Porrás & González, 2016a). En Ecuador, la situación es similar, con alrededor de 7840 toneladas diarias de residuos orgánicos (Salgado Ortiz, 2020).

Es esencial revitalizar los desechos agrícolas mediante su reutilización para preservar recursos y minimizar el impacto ambiental. Implementar prácticas sostenibles en sectores agrícolas, como en la producción de frijol, es vital para el equilibrio ambiental y el bienestar futuro.

El frijol, *Phaseolus vulgaris* L., es un cultivo importante en Ecuador, especialmente en áreas rurales. Países como la India, Brasil, México, Estados Unidos y Uganda concentran el 57.7% de la producción y consumo global de frijol (Torres Navarrete et al., 2013). En Ecuador, se cultivan unas 35,000 hectáreas de frijol, siendo la Sierra Norte como principal productor (Torres Navarrete et al., 2013). Sin embargo, la producción de frijol genera residuos sólidos que, si no se gestionan adecuadamente, causan problemas ambientales (Mota Muñoz & Espinoza Rosales, 2019; Porrás & González, 2016).

El carbón activado (CA) se emplea en diversas industrias debido a sus propiedades adsorbentes en líquidos y

gases, como la purificación de gases, la extracción de oro y el tratamiento de agua, y se produce a partir de varios precursores carbonosos, incluidos los residuos agrícolas (Evwierhoma et al., 2018).

Los métodos de obtención incluyen un proceso de carbonización seguido de un proceso de activación. La carbonización es un proceso de descomposición por pirólisis a altas temperaturas, en ausencia de oxígeno, con un rango de temperatura de alrededor de 400°C a 600°C durante aproximadamente una hora (Pastor et al., 1999). La activación puede realizarse mediante activación física (AF) o activación química (AQ). En la AF, la muestra se prepara mediante lavado y secado a altas temperaturas en horno, seguido de su carbonización en una atmósfera inerte y la activación con vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o aire a altas temperaturas y presión (Ukanwa et al., 2019; Demiral & Demiral, 2018). Por otro lado, en la AQ, se sigue un proceso similar de preparación, pero con la adición de la impregnación de agentes activadores como ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), cloruro de zinc (ZnCl<sub>2</sub>) o hidróxido de potasio (KOH), antes de la carbonización a altas temperaturas (Kra et al., 2019).

Entre los métodos más efectivos se encuentra la impregnación con agentes como ZnCl<sub>2</sub> o KOH, seguida de la carbonización en una atmósfera de nitrógeno y el lavado con soluciones ácidas y agua destilada para eliminar impurezas (Demiral & Demiral, 2018). Estudios preliminares realizados por la revista Nigeriana de Tecnología, mostraron que el método más adecuado para obtener carbón activado a partir de las vainas de frijol, el método químico y que el mejor agente activador es ácido orto fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), las condiciones utilizadas fueron carbonización a 500°C y activación a 700°C (Evwierhoma et al., 2018).

En definitiva, el carbón activado es un material poroso obtenido a través de la carbonización y activación de materiales orgánicos, principalmente de origen vegetal. Este procedimiento se lleva a cabo con el objetivo de lograr una alta porosidad y una extensa área superficial. Su capacidad en la filtración de agua es notoria gracias a su estructura amorfa y su amplia superficie con poros de diversos tamaños. Es ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales y otros procesos industriales. (Nartey & Zhao, 2014). Sin embargo, al agregarle un valor adicional, como las nanopartículas de plata, se potencia la eficacia de los sistemas de filtración de agua; al ofrecer eliminar los microorganismos patógenos presentes en el agua. (Poornima Parvathi et al., 2020; Ghaedi et al., 2012). Este estudio contribuye al desarrollo de tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas.

Esta investigación plantea la reutilización de restos de vainas de frijol para producir carbón activado (CA) y evaluar su eficacia en la depuración del agua. Además, se busca también mejorar sus propiedades incorporando

nanopartículas de plata. Los objetivos del presente trabajo son los siguientes: (1) Obtener CA a partir de vainas de frijol aplicable a la filtración de agua, (2) caracterizar el CA mediante FTIR y XRD, (3) Evaluar la viabilidad técnica del proceso mediante un análisis gravimétrico, (4) Evaluar la efectividad del filtrado en presencia de nanopartículas de plata al CA.

## II. METODOLOGÍA.

### A. Preparación del carbón activado.

#### I. Materiales.

Los materiales utilizados fueron: 118,1 g de vainas de frijol, varilla de agitación de vidrio, crisoles, 2 vasos de precipitación de 100 ml, espátula, papel de filtro, balanza digital, horno, mufla, estufa, medidor de pH MW150 MAX, molino, ácido fosfórico y agua destilada. Para caracterizar el carbón activado obtenido, se emplearon FTIR y XRD para la caracterización. El FTIR se utilizó para identificar los grupos funcionales en la superficie del carbón, mientras que el XRD se empleó para analizar su estructura cristalina.

#### II. Procedimiento.

Se empleó el método químico para la producción de carbón activado a partir del frijol, está compuesto por las etapas de carbonización y activación química. (Ukanwa et al., 2019; Zięzio et al., 2020). Para esta última etapa, se seleccionó el  $H_3PO_4$  como agente activador, basándonos en investigaciones previas publicadas por la Revista Nigeriana de Tecnología (Ewrierhoma et al., 2018). El procedimiento se presenta en la Figura 1.

**Figura 1.** Metodología utilizada para la obtención de CA, 2024.



Se hicieron ajustes en el proceso, como la modificación del tiempo de secado inicial de las muestras y el uso integral de los residuos de vainas, sin pasar por un proceso de tamizaje previo, para aprovechar al máximo la materia prima disponible. Asimismo, se ajustó la cantidad de agente activador, optando por una proporción de 10 g en 20 ml de  $H_3PO_4$ , en contraste con los 5 g en 20.4 ml de  $H_3PO_4$  utilizados por Ewrierhoma et al., 2018.

Los residuos de frijol fueron lavados y secados a 105°C durante 4 horas, posteriormente triturados para obtener 90.5 g de material. En la etapa de carbonización, el material triturado fue tratado en una mufla a 500°C durante 1 hora, produciendo carbón. En la etapa de activación, 10 g de este carbón se mezclaron con una solución de 20 ml de agua destilada y 0.41 ml de  $H_3PO_4$ , y se secaron a 105°C durante 24 horas. La muestra resultante se activó en una mufla a 700°C durante 30 minutos, seguida de un enfriamiento de 12 horas. Luego, la muestra se lavó con una solución de HCl 0.1 N, se filtró y se secó nuevamente durante 24 horas. Finalmente, la muestra se lavó con agua destilada hasta alcanzar un pH entre 6 y 7 y se secó nuevamente.

### B. Incorporación de NPs de Plata.

#### I. Materiales.

Para llevar a cabo la síntesis in situ de nanopartículas de plata en carbón activado, se emplearon los siguientes materiales y reactivos: 10 g de CA comercial (Control) y 10 g de CA de frejol, agitador magnético, soporte universal y pinzas, vasos de precipitación, bureta, espátula, 2 tubos falcón de 15 ml, matraz volumétrico de 200 ml y 50 ml, varilla de agitación de vidrio, placa calefactora, centrifugadora, estufa, borohidruro de sodio ( $NaBH_4$ ), agua destilada y nitrato de plata ( $AgNO_3$ ). Para la caracterización del material, se utilizó un espectrofotómetro UV-visible, que permite determinar la presencia de las nanopartículas en el CA.

#### II. Procedimiento.

En primer lugar, se sintetizaron las nanopartículas de plata, se prepararon dos soluciones: una de borohidruro de sodio y otra de nitrato de plata. Se disolvieron 0.03024 g de  $NaBH_4$  en un balón de 200 ml y 0.0345 g de  $AgNO_3$  en un balón de 50 ml. Se estableció un sistema de goteo para añadir gradualmente el  $NaBH_4$  a la solución de  $AgNO_3$  en un vaso de precipitado sobre una placa de agitación enfriada. En una bureta se cargaron 10 ml de  $NaBH_4$ , y se activó la agitación a 300 rpm durante 20 minutos. La llave de la bureta se abrió hasta que la solución cambió a amarillo coloidal. Esta metodología se fundamenta en investigaciones previas sobre la síntesis de NPs-Ag (Sodha et al., 2015; Badi'ah et al., 2019).

Finalmente, la incorporación de nanopartículas de plata se llevó a cabo sumergiendo 10 ml de solución de nanopartículas de plata por cada gramo de carbón activado. Tras agitar, se dejó reposar durante 24 horas y luego se separó la fase acuosa del sólido mediante centrifugación a 1500 rpm durante 30 minutos. La fase líquida se decantó, y el residuo se desecó completamente en una estufa a 50°C sobre papel filtro. Se examinó la presencia de nanopartículas de plata en el carbón activado mediante análisis de espectro UV-vis (El-Aassar et al., 2013).

### C. Sistema de filtración de agua y análisis microbiológico.

#### III. Materiales.

Se utilizaron vasos de precipitación, espátulas, embudos, arena, algodón y soportes universales con pinzas, carbón activado comercial y de frejol, así como variantes con NPs-Ag, muestra de agua.

El agua recolectada de una acequia en Imbabura, Urcuquí, presentaba un pH de 8.2 y un color marrón, indicando la presencia de materia orgánica. Además, contenía sedimentos y microorganismos, incluyendo *Escherichia coli*.

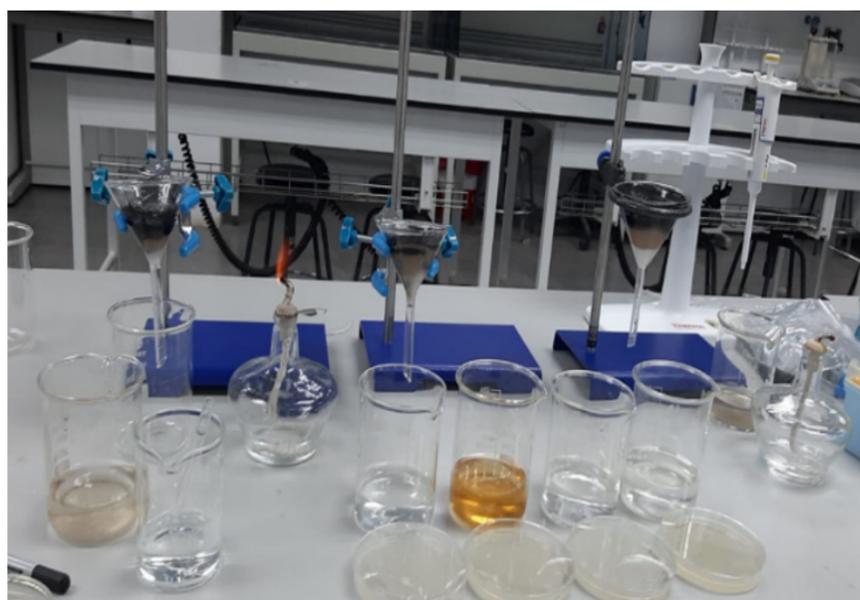
#### IV. Procedimiento.

Se armaron sistemas de filtración convencional para comparar el rendimiento entre carbón activado de frejol, carbón activado comercial y sus versiones mejoradas con nanopartículas de plata.

Los sistemas de filtración se construyeron con la misma combinación de materiales: algodón, arena y carbón activado (Figura 2). Solo se varió el tipo carbón activado utilizado. En el primer sistema se usó CA de frijol, en el segundo CA comercial (control), en el tercero CA comercial con NPs-Ag, y en el cuarto CA de frijol con NPs-Ag.

### Figura 2.

Ensamblaje de los sistemas de filtrado, 2024.



Las muestras de agua filtrada se caracterizaron mediante la medición del pH, la evaluación del color y la detección de sólidos visibles. Para el análisis microbiológico, se sembraron en placas de agar y se incubaron durante 24 horas a 37°C. Posteriormente, se realizó un análisis visual comparativo para detectar cambios en el crecimiento bacteriano.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### A. Caracterización de carbón activado del "frejol".

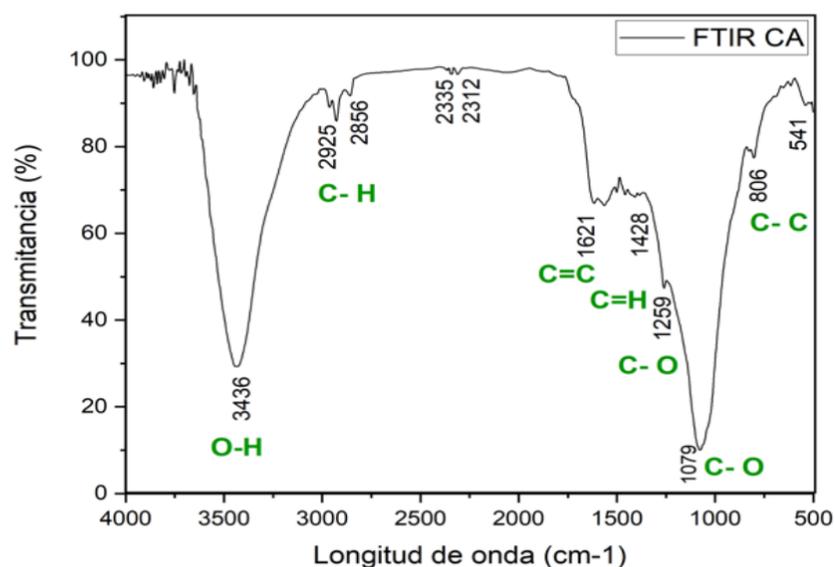
El análisis FTIR del carbón activado derivado de vainas de frijol revela la presencia de varios grupos funcionales característicos (Figura 3). Se identifican vibraciones de grupos -OH a 3436 cm<sup>-1</sup>, alifáticos (C-H) a 2925 y 2856 cm<sup>-1</sup>, posibles carbonilos (C=O) o alquenos (C=C) a 1621 cm<sup>-1</sup>, y anillos aromáticos a 1567 y 1498 cm<sup>-1</sup>, así como grupos C-O a 1259 y 1079 cm<sup>-1</sup>.

En comparación, estudios previos sobre carbón activado obtenido de hojas de hierba carrizo muestran similitudes en los grupos funcionales identificados. Se observan vibraciones de grupos -OH a 3600–3200 cm<sup>-1</sup>, estiramientos alifáticos de CH a 2800–3000 cm<sup>-1</sup>, posibles vibraciones de C=C a 1630 cm<sup>-1</sup>, y estiramientos de C-O a 1000–1300 cm<sup>-1</sup> (Xu et al., 2014). Ambos estudios emplearon el mismo agente activador, lo que sugiere consistencia en la composición química y los grupos funcionales detectados en diferentes muestras de carbón activado.

Estos hallazgos respaldan la eficacia de la técnica de activación utilizada en esta investigación y la viabilidad de utilizar vainas de frijol como material principal para la producción de carbón activado.

### Figura 3.

FTIR de carbón activado de Phaseolus Vulgaris L., 2024.

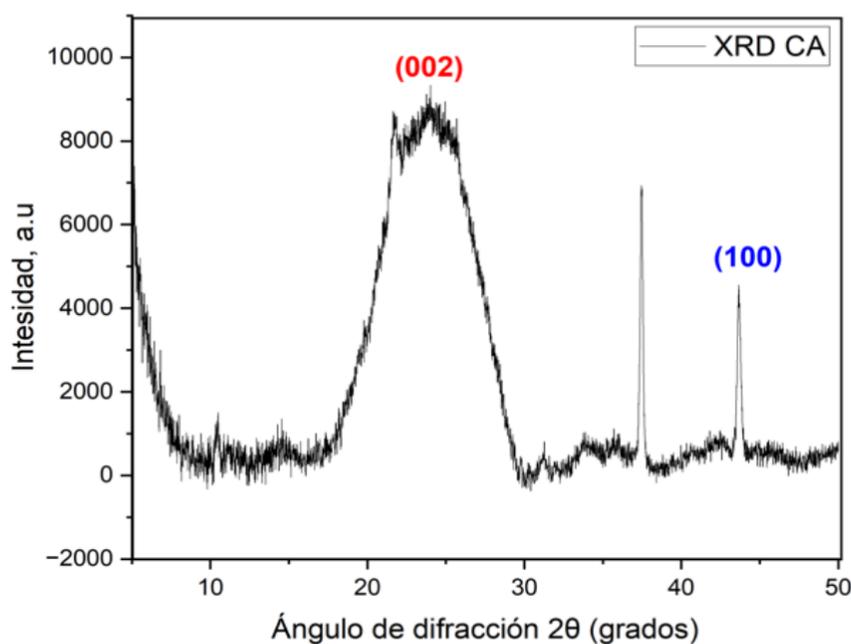


El análisis de XRD revela picos distintivos en  $2\theta = 21.65^\circ$ ,  $23.77^\circ$ ,  $37.47^\circ$  y  $43.66^\circ$ . Los picos en  $2\theta = 21.65^\circ$  y  $23.77^\circ$  se asocian con el carbono amorfo, mientras que los picos en  $2\theta = 37.47^\circ$  y  $43.66^\circ$  indican la presencia de estructuras cristalinas. Comparando estos resultados con estudios previos que muestran picos en los planos (002), (100) y (101) del carbono grafítico, se confirma la formación de una estructura cristalina bien definida (Kalagatur et al., 2017). Además, el pico agudo en  $2\theta = 26^\circ$  correspondiente a la estructura turbostrática cristalina sugiere una mejor organización estructural.

Similarmente, según Bedia et al. (2020), el análisis de XRD revela la presencia de picos distintivos alrededor de los  $25^\circ$  y  $43^\circ$ , consistentes con los planos cristalinos (002) y (100) del carbono (Figura 4). Estos resultados sugieren una estructura cristalina bien definida en el carbón activado de frijol, indicando una mayor estabilidad estructural y una mayor área superficial activa para la adsorción. Los resultados XRD de este estudio muestran una mezcla de fases amorfas y cristalinas.

**Figura 4.**

*XRD de carbón activado de Phaseolus Vulgaris L., 2024.*



**B. Análisis gravimétrico de composición de la muestra.**

Se evaluó la eficiencia de obtención de carbón activado a partir del bagazo de frijol mediante un análisis gravimétrico basado en la norma APHA sección 2540 G (Bridgewater et al., 2017). Los resultados fueron:

**Tabla 1.**

*Resultados de análisis gravimétrico, 2024.*

<b>Sólidos totales</b>	40 [mg/kg]
<b>Sólidos volátiles</b>	9.0025 [mg/kg]
<b>Sólidos fijos</b>	75.32 [g/kg]
<b>Porcentaje de humedad</b>	18.17%

La eficiencia de producción de carbón activado alcanzó el 63.83%, con una pérdida total de 42.69 g de la muestra inicial de 118.1 g después del secado y el proceso de pirólisis.

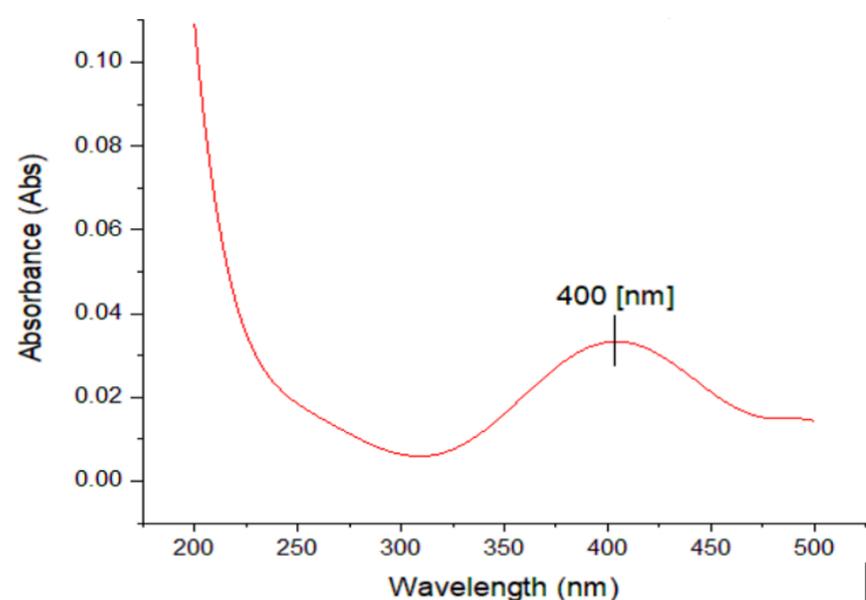
La proporción elevada de sólidos fijos indica resistencia a la calcinación, lo que beneficia a la calidad del carbón activado obtenido. Por otro lado, el bajo contenido de sólidos volátiles sugiere una pérdida significativa de materia orgánica durante la carbonización, lo que contribuye a la formación de una estructura porosa del carbón activado.

**C. Caracterización del carbón activado con NPs de plata.**

Las NPs-Ag exhiben una banda de absorción característica entre 400 nm y 500 nm, lo que provoca un cambio de color en la solución de amarillo a (Sodha et al., 2015; Mulfinger et al., 2007). La impregnación de estas nanopartículas en el carbón activado se confirmó mediante el análisis de espectro UV-vis (Figura 5).

**Figura 5.**

*Espectro de UV-vis de Carbón activado y NPs de Ag, 2024.*



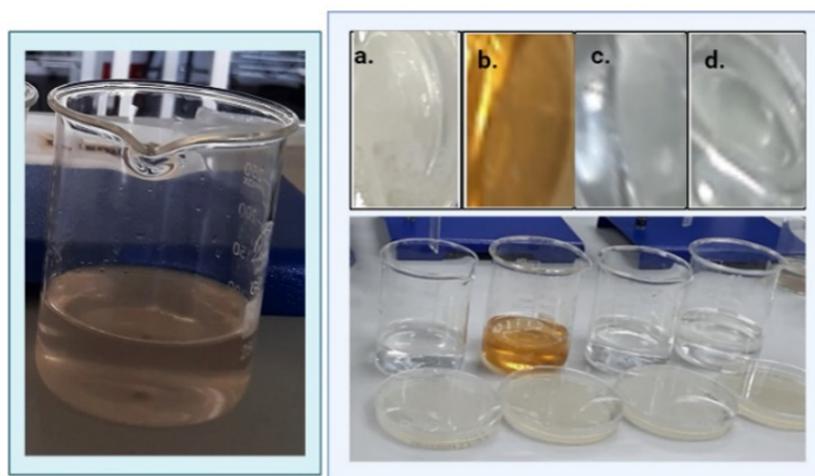
## D. Análisis microbiológico del agua filtrada.

### 1. Caracterización.

La Figura 6 ilustra la variación de color observada en las muestras de agua tras el filtrado mediante diferentes tipos de carbón: a) carbón activado comercial, b) carbón, c) carbón derivado del frijol (Phaseolus vulgaris), y d) carbón con nanopartículas de plata.

**Figura 6.**

Colorimetría del agua filtrada, 2024.



A pesar del color amarillo característico de las nanopartículas de Ag, el agua filtrada muestra una apariencia transparente y cristalina (**Figura 5.d**), en contraste con el color amarillo típico de las NPs-Ag.

La caracterización de las muestras de agua filtrada se describe en detalle en la Tabla 2.

**Tabla 2.**

Caracterización de las muestras filtradas de agua, 2024.

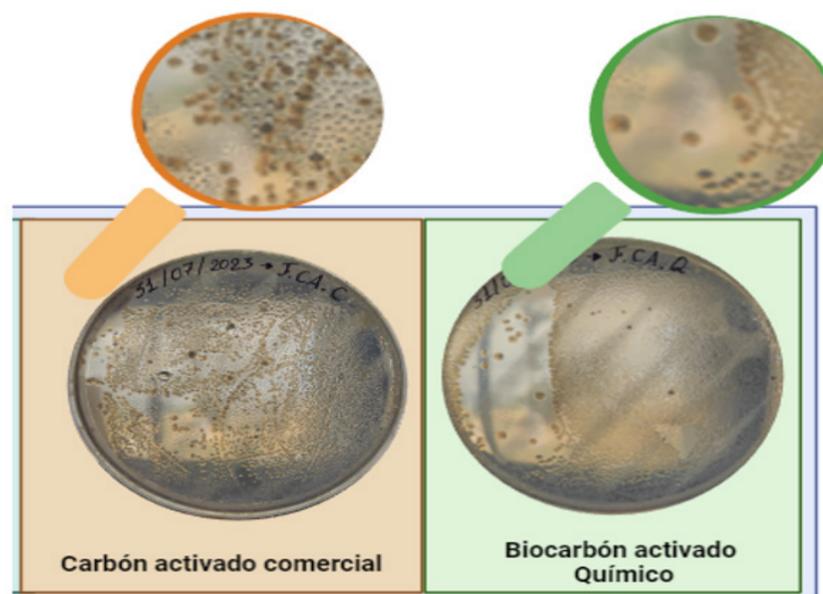
Tipo de filtro	pH	Color	Sólidos presentes
<b>Características de muestra de agua.</b>	8.2	Marrón	Matéria orgánica Sedimentos Microorganismos ( <i>Escherichia coli</i> )
<b>Control (Carbón activado comercial)</b>	7.73	Transparente	No presenta Microorganismos
<b>Carbón activado de Frejol</b>	7.68	Transparente	No presenta Microorganismos
<b>Control CA comercial con NPs - Ag</b>	7.41	Transparente Cristalino	No presenta Microorganismos
<b>CA de Frijol con NPs - Ag</b>	7.31	Transparente	No presenta Microorganismos

### 2. Análisis de placas in vitro.

El análisis microbiológico de muestras de agua filtrada, mostró que el carbón activado derivado del frijol redujo la carga bacteriana de manera más efectiva que el carbón activado comercial (Figura 7).

**Figura 7.**

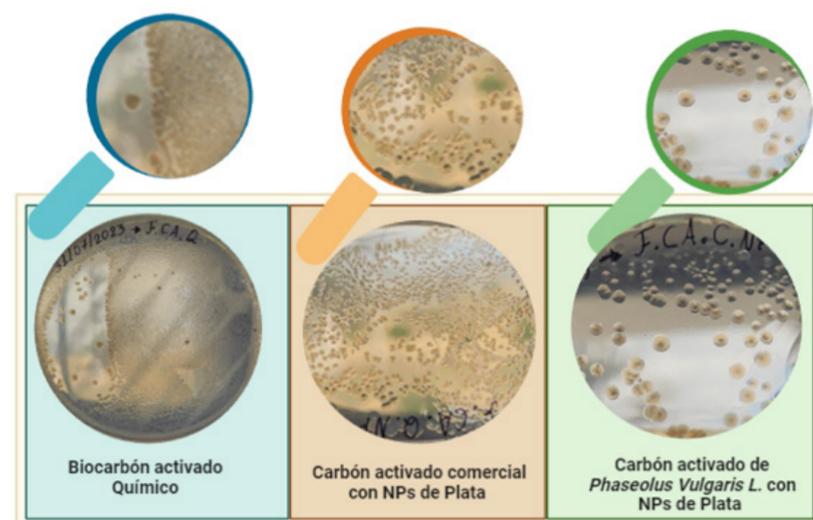
Placas in vitro de muestras de agua filtrada, 2024.



Por otro lado, al comparar la reducción de la carga bacteriana entre el carbón activado comercial (control), el carbón de frijol y su versión mejorada con nanopartículas de plata, se observó que los mejores resultados se obtuvieron al implementar las nanopartículas de plata (Figura 8).

**Figura 8.**

Placas in vitro de muestras de agua filtrada, 2024.

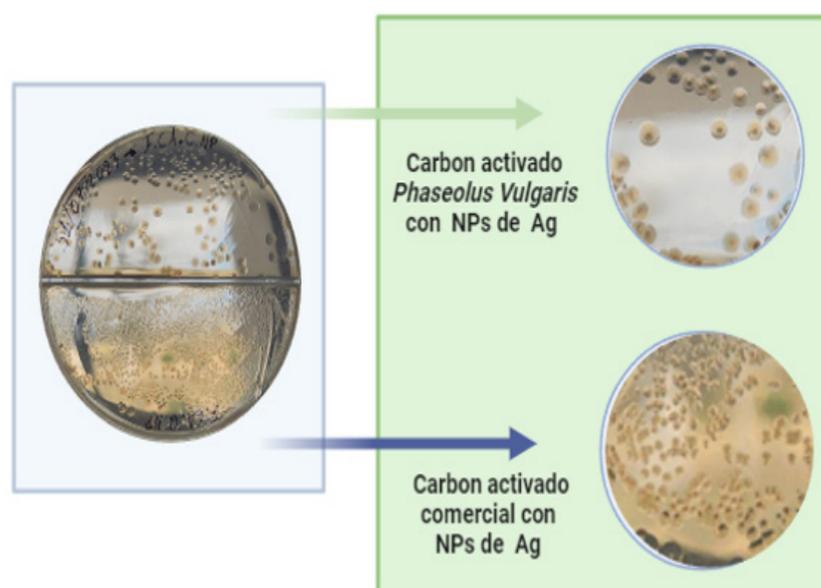


Definitivamente, el CA de frijol con NPs-Ag demostró ser más efectivo en la reducción de colonias bacterianas en comparación con el CA comercial con nanopartículas de plata. Esto sugiere que cuando las NPs se incorporan

en el carbón activado de frijol, mejoran su capacidad para eliminar microorganismos, posiblemente debido a la mayor porosidad y superficie específica del carbón activado de frijol (Figura 9).

**Figura 9.**

Detalle del logo tipo de JITEL, 2013.



## IV. CONCLUSIONES.

El análisis FTIR del carbón activado derivado de vainas de frijol revela la presencia de grupos funcionales característicos, como hidroxilos, alifáticos, carbonilos y aromáticos, similares a los del carbón activado convencional. Estos resultados resaltan la viabilidad de producir carbón activado a partir de vainas de frijol, lo que subraya el potencial de aprovechar residuos agrícolas como una alternativa sostenible y económica.

Los análisis por XRD revelan una estructura cristalina bien definida con dominios ordenados en el carbón activado de frijol, indicando su alta calidad y potencial para aplicaciones de filtración y purificación. La buena cristalinidad y los tamaños de cristalitas amplios sugieren una alta estabilidad estructural y una mayor área superficial activa para la adsorción.

El análisis gravimétrico demostró que el bagazo de frijol es altamente efectivo en la producción de carbón activado, con una tasa de conversión del 63.83%. La presencia de una cantidad significativa de sólidos fijos indica una resistencia adecuada a la calcinación, mientras que la baja cantidad de sólidos volátiles sugiere una pérdida mínima de materia orgánica durante el pirólisis.

El carbón activado derivado de Phaseolus Vulgaris, comúnmente conocido como “frijol”, exhibe notables capacidades para la eliminación de impurezas en el agua. Sin embargo, su eficacia se ve aún más potenciada cuando se combina con nanopartículas de plata, lo que resulta en una significativa reducción de microorganismos durante el proceso de filtración. Este hallazgo subraya el potencial del carbón activado de frijol como una herramienta prometedora para mejorar la calidad del agua.

Este estudio ha demostrado la viabilidad de obtener carbón activado a partir de vainas de frijol utilizando un proceso de carbonización y activación. Se encontró que un proceso de carbonización a 105°C durante 4 horas y activación a 700°C durante 30 minutos fue efectivo para obtener un producto de calidad. Además, se observó que prolongar el tiempo de activación aumentaba la cantidad de cenizas en las muestras, lo que sugiere no modificar el tiempo de activación.

Para futuras investigaciones, se sugiere explorar métodos de activación más respetuosos con el medio ambiente y llevar a cabo análisis detallados utilizando técnicas como microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía electrónica de transmisión (TEM) para una mejor caracterización del carbón activado obtenido. Estos esfuerzos pueden proporcionar una comprensión más completa de las propiedades del carbón activado y ayudar a mejorar aún más el proceso de producción.

El estudio demuestra que la producción de carbón activado a partir de residuos de frijol (Phaseolus vulgaris L.), mejorado con nanopartículas de plata, es una solución técnica viable y eficaz para la purificación del agua, abordando de manera sostenible la gestión de desechos agrícolas y mejorando significativamente la calidad del agua. Esta tecnología está alineada con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, promoviendo una economía circular, minimizando el impacto ambiental, y contribuyendo al bienestar comunitario.

## V. AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos el apoyo del técnico de laboratorio en los Laboratorios de Yachay Tech de la Escuela de Ciencias Biológicas e Ingeniería, la Escuela de Química e Ingeniería, la Escuela Física y Nanotecnología.

## VI. BIBLIOGRAFÍA.

Aylwin Ríos, C. (2017). *Evaluación de un plan de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de Cochamó, ingeniería conceptual*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150305>.

Badi'ah, H. I., Seede, F., Supriyanto, G., & Zaidan, A. H. (2019). Synthesis of Silver Nanoparticles and the Development in Analysis Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 217(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/217/1/012005>.

Bedia, J., Peñas-Garzón, M., Gómez-Avilés, A., Rodríguez, J., & Belver, C. (2020). Review on Activated Carbons by Chemical Activation with FeCl<sub>3</sub>. *C*, 6. <https://doi.org/10.3390/c602002>.

Bridgewater, L. L., Baird, R. B., Eaton, A. D., Rice, E. W., American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation (Eds.). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd edition)*. American Public Health Association.

De León Duarte, M. (2022). *Retos en la gestión y valorización de los residuos en Canarias. Un paso hacia la economía circular*. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/26738>.

Demiral, H., & Demiral, İ. (2018). Preparation and characterization of carbon molecular sieves from chestnut shell by chemical vapor deposition. *Advanced Powder Technology*, 29(12), 3033-3039. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2018.07.015>.

El-Aassar, A. H. M., Said, M. M., Abdel-Gawad, A. M., & Shawky, H. A. (2013). *Using Silver Nanoparticles Coated on Activated Carbon Granules in Columns for Microbiological Pollutants Water Disinfection in Abu Rawash area, Great Cairo, Egypt*.

Evwierhoma, E. T., Madubiko, O. D., & Jaiyeola, A. (2018). Preparation and characterization of activated carbon from bean husk. *Nigerian Journal of Technology*, 37(3), Article 3. <https://doi.org/10.4314/njt.v37i3.17>.

Ghaedi, M., Biyareh, M. N., Kokhdan, S. N., Shamsaldini, S., Sahraei, R., Daneshfar, A., & Shahriyar, S. (2012). Comparison of the efficiency of palladium and silver nanoparticles loaded on activated carbon and zinc oxide nanorods loaded on activated carbon as new adsorbents for removal of Congo red from aqueous solution: Kinetic and isotherm study. *Materials Science and Engineering: C*, 32(4), 725-734. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.01.015>.

Kalagatur, N., Karthick, K., Joseph Anthuvan, A., Ghosh Ph.D., O. S. N., Nayak, C., Gupta, V. K., Krishna, K., & Mudili, Dr. V. (2017). Application of Activated Carbon Derived from Seed Shells of *Jatropha curcas* for Decontamination of Zearalenone Mycotoxin. *Frontiers in Pharmacology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00760>.

Kra, D. O., Allou, N. B., Atheba, P., Drogui, P., & Trokourey, A. (2019). Preparation and Characterization of Activated Carbon Based on Wood (*Acacia auriculaeformis*, Côte d'Ivoire). *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.4236/jeas.2019.92004>.

Mota Muñoz, S. del C., & Espinoza Rosales, A. D. (2019). *Caracterización y evaluación preliminar de cuatro variedades locales de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en las localidades Tamalapa, El Mojon, El Cristal y el Guineo del municipio Ciudad Dario, departamento Matagalpa postrera 2017—Primera 2018* [Engineer, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3939>.

Mulfinger, L., Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., & Boritz, C. (2007). Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*, 84(2), 322. <https://doi.org/10.1021/ed084p322>

- Nartey, O. D., & Zhao, B. (2014). Biochar Preparation, Characterization, and Adsorptive Capacity and Its Effect on Bioavailability of Contaminants: An Overview. *Advances in Materials Science and Engineering, 2014*, e715398. <https://doi.org/10.1155/2014/715398>.
- Pastor, A. C., Rodríguez-Reinoso, F., Marsh, H., & Martínez, M. A. (1999). Preparation of activated carbon cloths from viscous rayon. Part I. Carbonization procedures. *Carbon, 37*(8), 1275-1283.
- Poornima Parvathi, V., Umadevi, M., Sasikala, R., Parimaladevi, R., Ragavendran, V., Mayandi, J., & Sathe, G. V. (2020). Novel silver nanoparticles/activated carbon co-doped titania nanoparticles for enhanced antibacterial activity. *Materials Letters, 258*, 126775. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.126775>.
- Porras, Á. C., & González, A. R. (2016a). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad, 9*(2), Article 2. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>.
- Porras, Á. C., & González, A. R. (2016b). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad, 9*(2), Article 2. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>.
- Reina Orosco, P. S. (2015). La sostenibilidad social del plan del manejo de residuos sólidos del municipio de Concepción, Junín. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4584>.
- Salgado Ortiz, G. S. (2020). *Valorización energética de residuos agrícolas: Cáscara de plátano, cascarilla de arroz y bagazo de caña mediante procesos de biodigestión y combustión* [bachelorThesis, Quito, 2020.]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20707>.
- Sodha, K., Jadav, J., Gajera, H., & Rathod, K. (2015). CHARACTERIZATION OF SILVER NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY DIFFERENT CHEMICAL REDUCTION METHODS. *International Journal of Pharma and Bio Sciences, 6*, 199-208.
- Torres Navarrete, E., Quisphe Caiza, D., Sánchez Laiño, A., Reyes Bermeo, M., González Osorio, B., Torres Navarrete, A., Cedeño Briones, A., & Haro Chong, A. (2013). Caracterización de la producción de Frijol en la provincia de Cotopaxi Ecuador: Caso Comuna Panyatug. *Revista Ciencia y Tecnología, 6*(1), 23-31.
- Ukanwa, K. S., Patchigolla, K., Sakrabani, R., Anthony, E., & Mandavgane, S. (2019). A Review of Chemicals to Produce Activated Carbon from Agricultural Waste Biomass. *Sustainability, 11*(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/su11226204>.
- Vega Alonso, C. (2019). *Estudio comparativo económico y ambiental de la gestión de RSU en vertedero e incineración*. <https://idus.us.es/handle/11441/101403>.
- Xu, J., Chen, L., Qu, H., Jiao, Y., Xie, J., & Xing, G. (2014). Preparation and characterization of activated carbon from reedy grass leaves by chemical activation with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. *Applied Surface Science, 320*, 674-680. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.08.178>.
- Zięzio, M., Charmas, B., Jedynek, K., Hawryluk, M., & Kucio, K. (2020). Preparation and characterization of activated carbons obtained from the waste materials impregnated with phosphoric acid(V). *Applied Nanoscience, 10*(12), 4703-4716. <https://doi.org/10.1007/s13204-020-01419-6>.

