

## Preparación de biocarbón impregnado con nanopartículas de Ag y Ni mediante pirólisis rápida de una sola etapa: Caracterización y Evaluación en la remediación de aguas contaminadas.

Ismael Hernández Crespo<sup>1</sup>, Julio Silva Mendoza<sup>2</sup>, Gloria Lourdes Dimas Rivera<sup>3</sup>, Leonardo Chávez Guerrero<sup>4\*</sup>

<sup>1,4</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Ave. Universidad s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolas de los Garza, Nuevo León, C.P. 6645 5. México.

<sup>2,3</sup> Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas. Ave. Universidad s/n, Ciudad Universitaria, San Nicolas de los Garza, Nuevo León, C.P. 66455. México.

\* e-mail: [leonardo.chavezgr@uanl.edu.mx](mailto:leonardo.chavezgr@uanl.edu.mx)

Recibido: 05 de Enero de 2024, Aceptado: 01 de Marzo de 2024

### Resumen

Durante la producción de jugo de naranja se producen grandes cantidades de desechos, cerca del 50% del peso total de la fruta. México es uno de los mayores productores de naranja a nivel mundial, y se deben considerar y estudiar nuevas técnicas rentables y amigables con el medio ambiente para reducir la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera debido a los residuos de naranja. Los contenidos permitidos de metales pesados como el Cd II son frecuentemente excedidos en cuerpos de agua subterráneos y superficiales debido a procesos antropogénicos y naturales, esto junto con la contaminación fecal representa un problema de salud a nivel mundial. Utilizando cáscara de naranja como precursor, se preparó carbón activado (AC) impregnado con nanopartículas (NP) de Ni y Ag mediante una sola etapa de pirólisis rápida para su uso potencial como adsorbente de metales pesados y agente antimicrobiano. Los materiales preparados se caracterizaron mediante espectroscopía Raman, Difracción de Rayos (XRD), Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Energía Dispersiva de Rayos X (EDX) y análisis B.E.T. Los resultados obtenidos fueron analizados para evaluar el uso potencial de estos materiales en sistemas de tratamiento de agua.

Palabras clave: Biocarbón, nanopartículas de plata, nanopartículas de níquel, pirólisis rápida, remediación de agua

### Abstract

During orange juice production large amounts of waste are produced, near to 50% of the total weight of the fruit. Mexico is one of the biggest producers of oranges around the world, and new cost-effective and environmentally friendly techniques must be considered and studied for reducing the emission of greenhouse gases to the atmosphere due to the orange waste. The permissible content of heavy metals such as Cd II is frequently exceeded in underground and superficial water bodies caused by anthropogenic and natural processes, this, along with fecal contamination represents a worldwide health problem. Using orange peel as a precursor, activated carbon (AC) loaded with Ni and Ag nanoparticles (NPs) was prepared by a single stage of fast pyrolysis for its potential use as a heavy metal adsorbent and anti-microbial agent. The materials prepared were characterized by Raman spectroscopy, XRD, SEM, EDX, and analysis BET. The obtained results were analyzed to evaluate the potential use of these materials in water treatment systems.

Keywords: Biochar, Silver nanoparticles, Nickel nanoparticles, Fast pyrolysis, Water reme



## 1. Introducción

El carbón activado se refiere a una amplia gama de materiales carbonizados, los cuales han tenido importantes aplicaciones industriales para la separación y remoción. Esto se lleva a cabo por medio de la adsorción de diversos compuestos de fases líquidas y gaseosas debido a su gran porosidad y área superficial, así como por la presencia de grupos funcionales como carboxilos, carbonilos, fenoles entre otros [1,2]. Es difícil estimar desde cuando se ha utilizado el carbón activado, los egipcios utilizaban carbón proveniente de madera carbonizada en los años 1500 A.C. como absorbente de uso medicinal y en la India era utilizado para purificar su agua, sus aplicaciones industriales, sobre todo en la industria alimentaria se registra a partir de 1900 [1]. Según la Organización de Agricultura y Alimentación de la ONU [3] en el mundo se producen 75,458,588 toneladas de naranja, de estas 4,648,620 se producen en México, se estima que después de la producción de alimentos a partir de naranja se genera 50-60 % de cascara del peso de la fruta como desecho de los procesos, por lo que es necesario desarrollar nuevos métodos para el manejo de estos desechos en búsqueda de evitar su acumulación en rellenos sanitarios al aire libre que provocan la generación de gases de efecto invernadero [4].

La Agencia de Protección Ambiental de EUA declaró como máxima concentración de Cd en el agua de 5  $\mu\text{g/l}$ , sin embargo el rango de concentración de Cd reportado por algunos estados de EUA es de 0.08  $\mu\text{g/l}$  a 27  $\mu\text{g/l}$ . Las fuentes de este elemento son por medio de procesos naturales y antropogénicos [5,6]. Las características brindadas por carbón

activado lo hacen un excelente material para la adsorción de contaminantes en fases líquidas, y mejorado con la aplicación de la nanotecnología es posible preparar materiales que mejoren los sistemas de tratamiento de agua. Sin embargo los procesos para la producción de carbón activado conllevan la exposición del material a altas temperaturas por periodos de tiempo extensos y en compañía de activadores químicos. Los trabajos encontrados relacionados con la dispersión de NPs de Ag y Ni, implican una etapa extra en el proceso de producción depositando las NPs previamente sintetizadas por distintos métodos como reducción química y “spray pyrolysis”.

Gorria et.al.[7] presentan la preparación de NPs de Ni sobre carbón activado comercial e impregnándolo con una solución  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  junto con sacarosa para proteger las NPs, después se sometió a 600°C por 3 horas en una atmósfera de  $\text{N}_2$ , las NPs obtenidas fueron de entre 8-15 nm, la deposición de las NPs redujeron la porosidad y por tanto el área superficial del carbón activado original caracterizaron el material mediante XRD encontrando un ligero pico ( $2\theta = 30$ ) atribuido a la composición amorfa del AC y tres picos bien definidos en  $2\theta = 44.5, 51.8, 76.5$  que se pueden asignar a las reflexiones (111), (200) y (222) características de la estructura cúbica centrada en la cara del níquel, un análisis magnético se realizó a temperatura ambiente encontrando valores de fuerza coercitiva y saturación magnética que indican que el material puede ser fácilmente manipulado con imanes convencionales[8]. Hoang et.al. [9] prepararon carbón activado con activación química de KOH a 800°C con

carbonización previa a 400°C por 2 horas, y agregaron este material a una solución 1:2 de  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en etanol y se expuso a 500°C para sintetizar nanopartículas de NiO en su superficie con un tamaño de 10-45 nm manteniendo buenas áreas superficiales de hasta 2043  $\text{m}^2/\text{g}$  y tamaños de poro de 0.8nm.

Parvathi et. al. [10] depositaron NPs de plata sintetizadas vía reducción química en la superficie de carbones activados y analizaron las zonas de inhibición provocadas por este material ante *E.coli* y *S.aureus*. Jian et. al. [11] utilizaron la impregnación por vacío de NPs de plata obtenida vía reducción verde, encontrando buenas capacidades de adsorción y eficiencia de reducción microbiana. Chen et. al. [12] analizaron la eficacia de reducción microbiana de fibras de carbón activado preparado mediante activación con vapor a 800°C, se impregnaron nanopartículas colocando el material en una solución con contenido de Ag durante 24 horas. El área superficial y el tamaño de poro mostró una disminución después de dispersar las NPs de Ag, mediante la preparación del cultivo junto con el carbón activado con nanopartículas de plata y la inoculación de E-coli se realizó la evaluación de las colonias al inicio del experimento y después de 24 horas de las colonias que sobrevivieron, se encontró que el contenido de Ag en el carbón activado afecta la eficiencia de reducción microbiana y se encontraron resultados positivos con contenido en peso mayor al 5 % de Ag.

En este trabajo se presenta una metodología eficiente para la preparación de Carbón Activado magnético a partir de cascara de naranja impregnado con nanopartículas de Ni y Ag por medio de

pirólisis rápida de un solo paso para su uso en la remoción de metales pesados y como agente bactericida en el agua, presentando así una propuesta para darle valor agregado a los residuos generados en el procesamiento de la naranja

## 2. Materiales y Métodos.

### 2.1 Materiales.

Como precursores se utilizó nitrato níqueloso, nitrato de plata (Fermont), se utilizó gas Argón 99.9% (Infra) durante el proceso y todas las soluciones fueron realizadas utilizando agua desionizada. Se utilizó un horno tubular marca Thermo Scinetific Lindberg/Blue Mini-Mite Furnace.

### 2.2 Pretratamiento.

Se utilizó cascara de naranja recolectada de centros comerciales de la zona metropolitana de Monterrey, se retiraron residuos de la naranja como pulpa y fibras y se realizaron recortes de 1 cm de de la cascara para un mejor manejo. Estos recortes fueron sometidos a un proceso de liofilizado para retirar el contenido de agua.

### 2.3 Pirolisis rápida y síntesis de NPs.

Una vez liofilizado el material se prepararon tres diferentes tipos de carbón activado; a manera de control se preparó carbón activado de cascara de naranja (ACOP), para su preparación, lotes de 5 mg de cascara de naranja se depositaron junto con 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitado y se agitaron a 100 rpm por 10 minutos, una vez pasado este tiempo se retiró el exceso de humedad y se colocó en un tubo de cuarzo con un

flujo de gas argón (Ar), una vez asegurado el flujo de Ar dentro del tubo de cuarzo, se colocó el tubo con la cascara de naranja húmeda en un horno tubular previamente calentado a 800°C, una vez alcanzados nuevamente los 800°C y pasados 10 minutos se retiró el tubo de cuarzo del horno. La figura 2.1 muestra el equipo utilizado para el proceso de pirólisis. El ACOP se retiró del tubo de cuarzo al haber alcanzado la temperatura del ambiente y se pulverizó en un mortero de cerámica para después pasar por un proceso de lavado y centrifugado con agua destilada.

La elaboración de CA con NPs de Ni (NACOP) y Ag (ANACOP) se realizó con los mismos paso que la preparación del ACOP con la única diferencia de que los recortes de cascara de naranja liofilizada se depositaron y agitaron en una solución de 100 ml con concentración 0.25 M  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  para la preparación de NACOP. De igual forma se preparó CA con NPs de Ni y Ag (ANACOP) agregando la cascara de naranja liofilizada a una solución de 100 ml con concentraciones 0.25 M  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  y 0.25 M  $\text{AgNO}_3$ , la figura 2.2 presenta las diferentes rutas para la preparación de cada material.

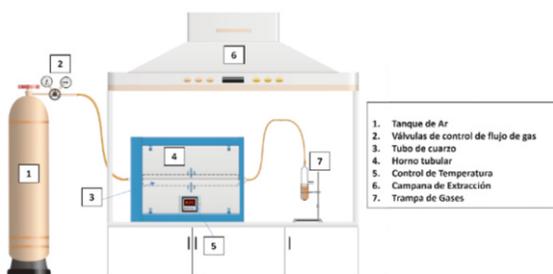


Figura 2.1 Equipo de pirólisis para la preparación de los materiales.

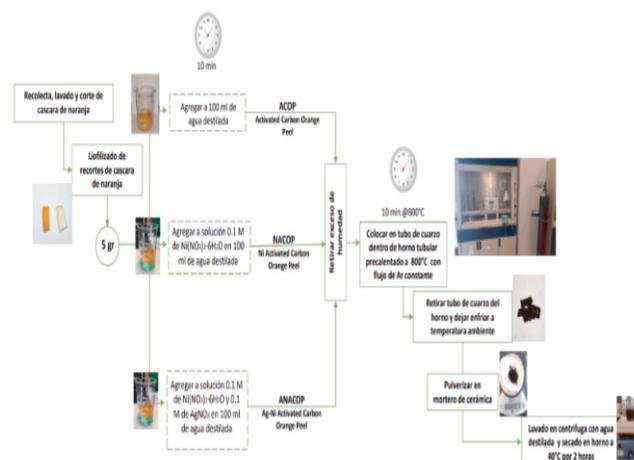


Figura 2.2 Rutas para la preparación de ANACOP, NACOP y ACOP.

## 2.4 Difracción de rayos X (XRD)

Los patrones de difracción de rayos X se obtuvieron en un difractómetro D8 Advance Bruker Powder. Los patrones de difracción fueron recolectados usando radiación  $\text{Cu K}\alpha$  ( $\lambda = 1.54184 \text{ \AA}$ ) en un rango de  $2\theta = 10 - 50^\circ$ .

## 2.5 Microscopia electrónica de barrido con espectroscópica de dispersión de energía (MEB-EDS)

Las muestras fueron observadas en un MEB Philips FEI XL30 SFEG con voltaje variable de 5-10 kV, donde se determinó la morfología de las muestras, las cuales fueron secadas y posteriormente adheridas con cinta de grafito en la parte superior de un soporte de aluminio.

## 2.6 Espectroscopia Raman

Los espectros de Raman se recolectaron a temperatura ambiente usando un microscopio Raman Thermo Scientific DXR con excitación láser de 532 nm. Las muestras se depositaron en portaobjetos

de vidrio previamente secadas. Los datos espectrales se acumularon hasta 30 veces con un tiempo de exposición al láser de 30 s.

### 2.7 Análisis B.E.T.

El análisis BET para caracterizar las propiedades de área superficial y volumen poroso se realizó con el equipo Quantachrome NovaWin utilizando nitrógeno como adsorbato a una temperatura de 273 K tomando 1 cm<sup>3</sup> de muestra para analizar.

### 2.8 Evaluación de la eficiencia de reducción microbiana.

El análisis de la eficiencia de reducción microbiana de los materiales se realizó mediante la preparación de un cultivo utilizando Agar LB y Agar Bacteriológico que se utilizó para inocular *E.coli* y *S.aureus* por separado durante 12 horas a 37°C en tubos de 16 x 1000 mm. Una vez pasado este tiempo se agrega agua a los tubos para separar la bacteria del agar sólido y se regresa al tubo, se realizaron ajustes para encontrar una absorbancia de 0.250 correspondiente a una concentración de  $3 \times 10^8$  bacterias/ml. En un matraz de 50 ml se pesaron 10 mg de los materiales preparados y el control, seguido se agregaron 19 ml de agua destilada y 1 ml de la solución con las bacterias, se mantuvo en agitación durante 24 horas a 37°C y 15 rpm. Se tomaron 0.1 ml de la solución y se sembraron en cajas Petri previamente preparadas con el agar, se dejó en incubación durante 24 horas a 37°C, pasado este tiempo se observó el crecimiento de unidades formadoras de colonia en las cajas.

### 2.9 Evaluación de la remoción de metales pesados.

Para determinar el impacto del tiempo de contacto del material en la solución de cadmio, utilizando una balanza analítica se pesaron 0.1 g de los materiales a evaluar (AC, ACOP, NACOP y ANACOP) y se colocaron en 5 matraces con 50 ml de la solución de Cd con una concentración conocida. El matraz se agitó a 30°C y 200 rpm en una incubadora de agitación. Al paso de los tiempos determinados (1, 2, 4, 8 y 16 h) se retiró de la agitación, y se separó el absorbente de la solución, posteriormente se tomó una muestra de la solución para determinar la concentración utilizando una curva de calibración y la medición de absorbancia del espectrofotómetro.

## 3. Resultados

### 3.1 Caracterización Físicoquímica

#### 3.1.1 Microscopía Electrónica de Barrido y EDS.

En la figura 3.1 se muestran las imágenes de MEB a 100,000 aumentos, en la imagen del AC (figura 3.1a) se observa una estructura fibrosa de la matriz de carbón. En la figura 3.1b no se observa tal matriz y es notoria la ausencia de NPs. Las NPs de Ni se pueden observar en la figura 3.1c, en la figura 3.1d se observa mayor densidad de NPs debido a la adición de la otra sal de Ag y mayor desarrollo de número de NPS. La figura 3.2 muestra las imágenes de MEB de baja magnificación a 1000 aumentos, es visible que la estructura de la cascara

de naranja (figuras 3.2b, 3.2c, 3.2d) difiere ampliamente del precursor utilizado para el carbón comercial (figura 3.2a), la mayoría de las NPs en ambos materiales se encuentran entre los 9 y 11 nm. El análisis elemental obtenido mediante EDS resulta en 80% de porcentaje en peso para C y 15% para O para el AC y ACOP, al añadir las NPs de Ni y Ag el porcentaje de C se mantiene igual y el de oxígeno se reduce hasta 5%, el % en peso del Ni en el NACOP es de 7% y en el ANCAOP el Ni y la Ag representaron un 4 y 5% en peso respectivamente.

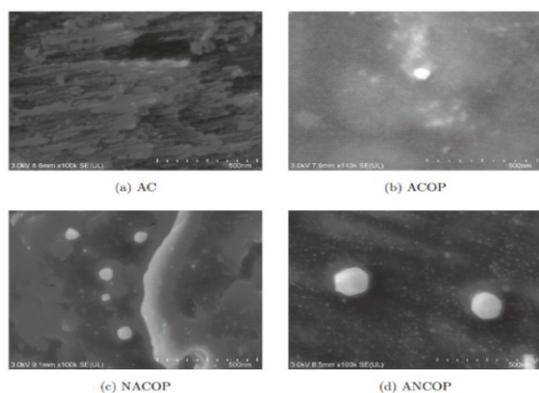


Figura 3.1 Imágenes SEM de alta magnificación.

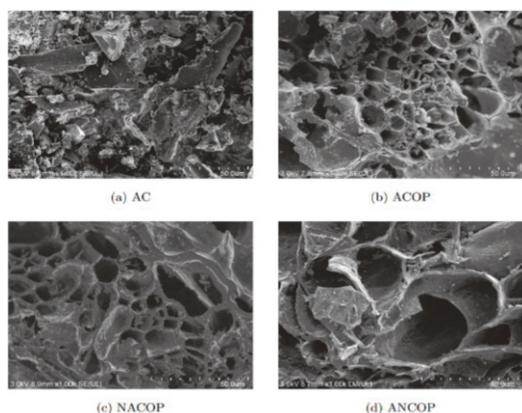


Figura 3.2 Imagen SEM de baja magnificación.

### 3.1.2 Patrones de XRD

Los patrones de difracción de rayos X se presentan en la figura 3.3, para la muestra de ANACOP, se observan cinco picos  $38.24^\circ$ ,  $44.49^\circ$ ,  $64.51^\circ$ ,  $77.4^\circ$  y  $81.72^\circ$ . La muestra de NACOP presenta picos en  $44.58^\circ$ ,  $51.9^\circ$ , y  $76.54^\circ$ . Todas las muestras presentan un pico en  $29.48^\circ$ , con mayor intensidad para al ACOP.

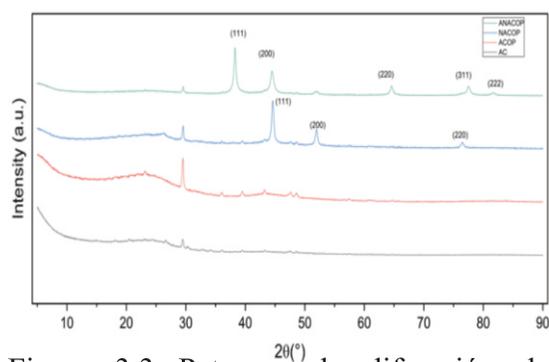


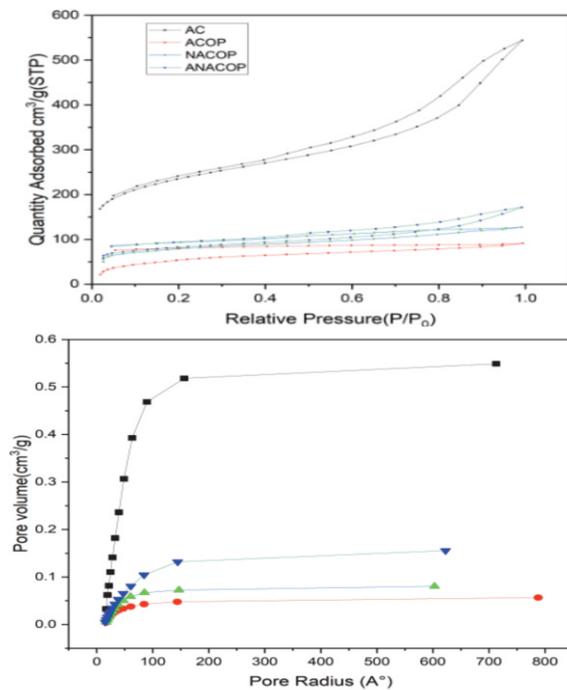
Figura 3.3 Patrones de difracción de Rayos X.

### 3.1.3 Análisis BET

Los resultados de este análisis se presentan en la figura 3.4 y la tabla 3.1. El área superficial mayor lo presenta el AC ( $853 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Entre los tres materiales preparados se presenta un aumento importante del valor del área superficial del ANACOP Y NACOP ( $301 \text{ m}^2/\text{g}$ ,  $285 \text{ m}^2/\text{g}$ ) y el volumen ( $396 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,  $385 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) en comparación del ACOP. La diferencia entre el tamaño de poro de los materiales se observa en la figura 3.4b el tamaño de poro promedio del material control AC es de  $19.71 \text{ \AA}$ , el tamaño de poro promedio del ACOP es de  $14.07 \text{ \AA}$ , el NACOP de  $13.79 \text{ \AA}$  y el tamaño promedio del ANACOP aumenta a  $17.57 \text{ \AA}$ .

Tabla 3.1 Propiedades de área superficial, volumen poroso y tamaño de poro

Propiedades	AC	ACOP	NACOP	ANACOP
BET surface area (m <sup>2</sup> /g)	853.814	200.51	285.481	301.768
External surface area (m <sup>2</sup> /g)	597.8	200.5	220.4	196.7
Langumir surface area (m <sup>2</sup> /g)	1139	293.9	385.6	396.8
Total pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	0.8421	0.141	0.1968	0.2652
Average Pore size(Å)	19.73	14.07	13.79	17.57



(b) Distribución de tamaño de poro.

Figura 3.4 Análisis superficial BET.

### 3.1.4 Espectros Raman

Los espectros Raman obtenidos de todos los materiales se presentan en la figura 3.5. En las cuatro muestras se presentan las bandas D y G en 1345 cm<sup>-1</sup> y 1589 cm<sup>-1</sup>. La relación ID/IG del ACOP, NACOP, ANACOP y AC se obtiene dividiendo las intensidades de las bandas D y G, se obtuvo una relación de 0.93, 0.92, 0.89 y 0.66 respectivamente.

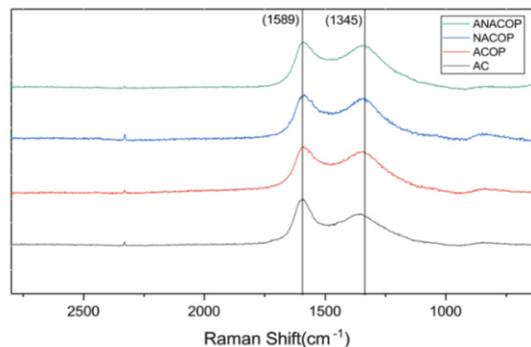
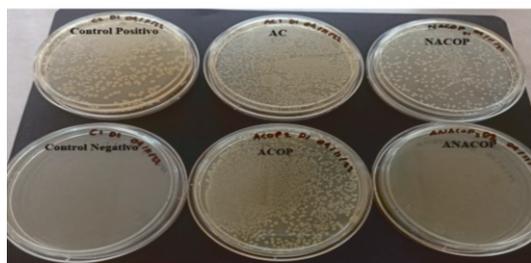


Figura 3.5 Espectros Raman de las muestras.

## 3.2 Evaluación en la remediación de aguas contaminadas.

### 3.2.1 Evaluación de la eficiencia de reducción microbiana.

Los resultados de la siembra de las soluciones con E.coli y S.aerus que estuvieron en contacto con los materiales, tal como se describe en la sección 2.8 se presentan en la figura 3.6. En la figura 3.6a se aprecia la acción de las nanopartículas de plata como agente antimicrobiano, no se observa crecimiento de bacterias cuando se pusieron en contacto con ANACOP, es apreciable una reducción en el crecimiento al estar en contacto con NACOP, el AC y ACOP no muestran disminución en el crecimiento de unidades formadoras de colonia en comparación con el control positivo. En la figura 3.6b tampoco se observa crecimiento de S.aerus al estar en contacto con ANACOP y NACOP, se observa un crecimiento similar para el AC y ACOP



(a) e.coli.



(b) s.aerus.

Figura 3.6 Resultados de la prueba de eficiencia de reducción microbiana

### 3.2.2 Remoción de metales pesados del agua.

La remoción de metales pesados se realizó utilizando como referencia la adsorción de Cd, utilizando la metodología descrita en la sección 2.9. La figura 3.7 presenta la cantidad de Cd removido en el tiempo, a partir de esta prueba se determinó como tiempo de estabilidad 16 horas. Es claro que el mejor desempeño removiendo hasta 11/mg/g, los materiales preparados tuvieron un desempeño similar entre si removiendo entre 8 y 9 mg/g al final del tiempo. El porcentaje de remoción de Cd en relación a la  $C_0$  se presenta en la figura 3.8.

La diferencia más amplia en el porcentaje de adsorción se da cuando la  $C_0=80$  ppm (AC=82.01 %), a concentraciones mayores el porcentaje de remoción es muy similar para todos los materiales

entre el 40 % y 48 %, el mayor porcentaje de remoción.

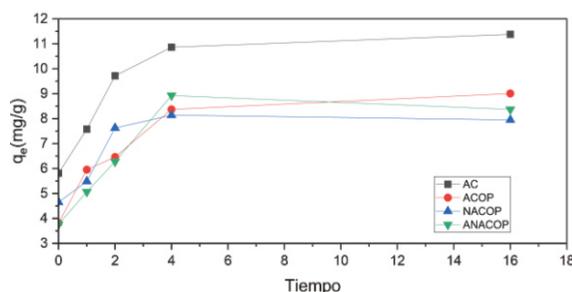


Figura 3.7 Remoción de Cd en el tiempo  $C_0=100$ ppm.

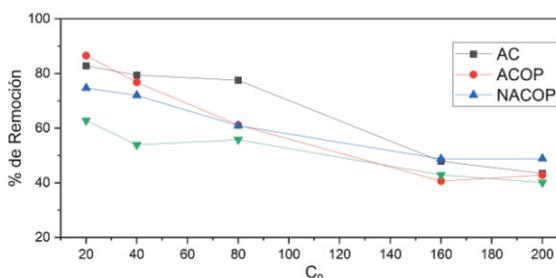


Figura 3.8 Porcentaje de remoción en relación con la concentración inicial, tiempo final= 16 horas.

### 3.2.3 Manipulación Magnética

Utilizando un imán de neodimio convencional de laboratorio se realizó una prueba sencilla para evidenciar la posibilidad de manipular el material magnéticamente, la figura 3.9 muestra como el material dispersado en el agua se atrae hacia el imán.

## 4. Discusión

La estructura de la matriz del material presentada en la figura 3.2 promueve que la solución con sales metálicas penetre a la estructura y el desarrollo de la NPs sea disperso por toda la matriz. Los patrones de XRD (figura 3.3) presentan los picos característicos de los planos  $s(111)$ ,  $(200)$ ,  $(220)$ ,  $(311)$  y  $(222)$  y coinciden

con los patrones de XRD de Ag y a su estructura Cubica Centrada en las Caras (FCC) (código ICSD 44387). La posición del pico correspondiente plano (200) para Ag está en  $44.31^\circ$ , que está cerca del plano (111) para Ni en  $44.83^\circ$ , en nanopartículas metálicas de aleaciones Ni-Ag no se observa ningún plano (200) para Ni en  $52.15^\circ$  estos resultados concuerdan con análisis previos realizados mediante XRD para caracterizar nanopartículas de Ni y Ag y nos permite descartar aleaciones [13]. Los patrones de XRD del NACOP muestra la estructura FCC del níquel puro, tres picos característicos en  $44.58^\circ$ ,  $51.9^\circ$  y  $76.54^\circ$  (JCPDS 03-1051) correspondientes a los índices (111), (200) y (222) [14].



Figura 3.9 Prueba de manipulación magnética utilizando un imán convencional se observa como el material con NPs de Ni es atraído asía el imán.

Los resultados obtenidos en la evaluación de reducción microbiana concuerdan con las propiedades antimicrobianas conocidas de la Ag, donde la superficie de la membrana formada proteínas que contienen sulfuro son sitios preferenciales para las NPs de Ag que posteriormente pueden afectar procesos como la respiración y división celular hasta llegar a la muerte de la célula [15]. El rol que juega la disposición de las nanopartículas en el

material es importante para fomentar la interacción con las células, por lo que es importante considerar el tamaño de las nanopartículas de Ag y evitar aleaciones o estructuras que limiten el contacto de la Ag con las bacterias.

El análisis de los datos (tabla 3.1) también revela que la cantidad de cadmio adsorbido aumenta con la concentración de la solución, pero el porcentaje de adsorción disminuye; lo anterior significa que la eliminación de iones de cadmio depende en gran medida de la concentración. A una concentración más baja de iones de cadmio, el número de iones de cadmio que están disponibles en la solución es menor en comparación con los sitios disponibles en el adsorbente. Sin embargo, a mayor concentración, los sitios disponibles para la adsorción se vuelven menos y el porcentaje de eliminación de iones de cadmio depende de la concentración inicial [16].

Este comportamiento se atribuye a las nanopartículas de Ni que se forma por la descomposición térmica y la reducción de la sal de níquel durante el proceso de carbonización y activación. Los electrones 3d de Ni están dispuestos de acuerdo con las reglas de Hund y los principios de exclusión de Pauli y estos orbitales tienen electrones desapareados. Los electrones de los átomos adyacentes tienen momentos magnéticos. Los electrones desapareados contribuyen al momento magnético creado en el Ni. La interacción de intercambio directo de estos momentos magnéticos electrónicos hace que los momentos magnéticos atómicos tengan una alineación plana [17].

## 5. Conclusión

El biocarbón preparado desarrolló volúmenes porosos y áreas superficiales menores al control comercial utilizado como referencia sin embargo, el método de preparación llevado a cabo es mucho más corto que los métodos encontrados en la literatura. Mediante la metodología utilizada se desarrollaron áreas superficiales del ANACOP Y NACOP (301 m<sup>2</sup>/g, 285 m<sup>2</sup>/g) y los volúmenes porosos de (396 cm<sup>3</sup>/g, 385 cm<sup>3</sup>/g) valores comparables con el control utilizado.

Mediante XRD se identificó la estructura de las nanopartículas sintetizadas siendo una estructura FCC para ambas NPs de Ni y Ag y fue posible descartar la presencia de aleaciones formadas entre estos metales. La presencia de NPs de Ag elemental le otorgaron propiedades bactericidas al material y su evaluación de eficiencia de reducción microbiana resultó positiva y no hubo crecimiento de UFC y la presencia de las NPs de Ni le otorgaron propiedades magnéticas al material para facilitar su manejo en sus aplicaciones.

La preparación de un adsorbente de carbón utilizando como precursor cascara de naranja mediante una metodología corta de un solo paso de pirólisis, donde a la par del proceso de carbonización del material se desarrollaron nanopartículas de Ag y Ni mediante reducción térmica fue posible y muestra grandes oportunidades de aplicación para su uso en la remediación de aguas contaminadas con metales pesados y bacterias. A su vez el aprovechamiento de los desechos de la industria citrícola en este tipo de metodologías resulta en una alternativa para el manejo de sus residuos y la

mitigación de gases de efecto invernadero resultado de una incorrecta disposición final.

## Referencias

- [1] Bansal, R. C., & Goyal, M. (2005). Activated carbon adsorption. CRC press.
- [2] Heidarinejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 393-415.
- [3] FAO (2020), FAOSTAT, UN.
- [4] Calabrò, P. S., Paone, E., & Komilis, D. (2018). Strategies for the sustainable management of orange peel waste through anaerobic digestion. *Journal of environmental management*, 212, 462-468.
- [5] Al-Malack, M. H., & Dauda, M. (2017). Competitive adsorption of cadmium and phenol on activated carbon produced from municipal sludge. *Journal of environmental chemical engineering*, 5(3), 2718-2729.
- [6] Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmium in soils and groundwater: a review. *Applied Geochemistry*, 108, 104388.
- [7] Gorria, P., Sevilla, M., Blanco, J. A., & Fuertes, A. B. (2006). Synthesis of magnetically separable adsorbents through the incorporation of protected nickel nanoparticles in an activated carbon. *Carbon*, 44(10), 1954-1957.
- [8] Zhang, J., Xie, Q., Liu, J., Yang, M., & Yao, X. (2011). Role of Ni (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in the preparation of a magnetic coal-based activated carbon. *Mining Science and Technology (China)*, 21(4), 599-603.

- [9] Dinh, K. N., & Gomes, V. G. (2020). Hybrid Ni/NiO composite with N-doped activated carbon from waste cauliflower leaves: A sustainable bifunctional electrocatalyst for efficient water splitting. *Carbon*, 157, 515-524.
- [10] Parvathi, V. P., 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.
- [11] Jiang, L., Jia, Z., Xu, X., Chen, Y., Peng, W., Zhang, J., ... & Wen, J. (2022). Preparation of antimicrobial activated carbon fiber by loading with silver nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 633, 127868.
- [12] Zhao, Y., Wang, Z. Q., Zhao, X., Li, W., & Liu, S. X. (2013). Antibacterial action of silver-doped activated carbon prepared by vacuum impregnation. *Applied surface science*, 266, 67-72. Davar, F., Fereshteh, Z., & Salavati-Niasari, M. (2009). Nanoparticles Ni and NiO: synthesis, characterization and magnetic properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 476(1-2), 797-801.
- [13] Yan, S., Sun, D., Tan, Y., Xing, X., Yu, H., & Wu, Z. (2016). Synthesis and formation mechanism of Ag-Ni alloy nanoparticles at room temperature. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 98, 107-114.
- [14] Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., & Yacaman, M. J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(10), 2346-2353. doi:10.1088/0957-4484/16/10/059
- [15] Tajar, A. F., Kaghazchi, T., & Soleimani, M. (2009). Adsorption of cadmium from aqueous solutions on sulfurized activated carbon prepared from nut shells. *Journal of Hazardous Materials*, 165(1-3), 1159-1164.
- [16] Zheng, Y., Hou, L., Liu, M., Newell, S. E., Yin, G., Yu, C., ... & Liu, C. (2017). Effects of silver nanoparticles on nitrification and associated nitrous oxide production in aquatic environments. *Science Advances*, 3(8), e1603229.
- [17] Li, X., Huang, Y., Liang, X., Huang, L., Wei, L., Zheng, X., ... & Li, Z. (2022). Characterization of biochars from woody agricultural wastes and sorption behavior comparison of cadmium and atrazine. *Biochar*, 4(1), 27.