

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“**ADSORCIÓN DE PLATA CON CARBÓN
ACTIVADO DE HUESO DE ACEITUNA**”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Forma: Artículo científico

Autores:

Jose Isidro Palma Ledesma
Jose Abraham Paredes Mendoza

Asesor:

Mg. Wilson Carlos Gomez Hurtado
<https://orcid.org/0000-0002-3434-3664>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Mag. Ing. Ronald Antonio Alvarado Obeso	44562630
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Mag. Ing. Liana Cárdenas Gutiérrez	40221041
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Mag. Ing. Wilberto Effio Quezada	42298402
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

ADSORCIÓN DE PLATA CON CARBÓN ACTIVADO DE HUESO DE ACEITUNA

INFORME DE ORIGINALIDAD

12 %	12 %	7 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	5 %
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1 %
3	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	1 %
5	1library.co Fuente de Internet	1 %
6	simag.mag.gob.sv Fuente de Internet	1 %
7	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1 %
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
9	dspace.esoch.edu.ec Fuente de Internet	

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis **PADRES** por sus enseñanzas brindadas para convertirme en la persona que soy hoy. A mi **ESPOSA E HIJOS** por ser mi motivo para seguir adelante. A mi **HERMANA** y demás familiares por brindarme su apoyo día a día.

Isidro Palma

El trabajo va dedicado con todo mi corazón a mis padres por toda la dedicación que han dado a lo largo de la vida universitaria, por sus enseñanzas y consejos brindados.

A los docentes por todas las enseñanzas brindadas en la etapa universitaria, por los consejos y compañerismo que me brindaron en la carrera.

Abraham Paredes

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, por no dejarnos decaer ante las adversidades que pudimos pasar y por permitir cumplir una de nuestras metas.

A nuestros padres, por los consejos y por ser nuestro soporte durante toda nuestra etapa universitaria.

Al Dr. Juan Antonio Vega González por su apoyo y enseñanzas durante el desarrollo de esta investigación.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO III: RESULTADOS	21
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	29
REFERENCIAS	31

ÍNDICE DE TABLAS

1 Parámetros en fase de activación química	17
Tabla 2 Propiedades físicas de hueso de aceituna con y sin activación química	21
Tabla 3 Propiedades físicas de hueso de aceituna sin activación química	21
Tabla 4 Porcentaje de atrición	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Preparación de hueso de aceituna.....	17
Ilustración 2: Isoterma de Freundlich-Kuster para CA de cáscara de coco comercial	23
Ilustración 3: Isoterma de Freundlich-Kuster para carbón activado de hueso de aceituna.....	24
Ilustración 4: Curvas de capacidad de plata (mg Ag/gC) en función del tiempo, para carbón activado de hueso de aceituna y cáscara de coco	25
Ilustración 5: Isoterma de Langmuir para carbón activado de cáscara de coco comercial.	26
Ilustración 6: Isoterma de Langmuir para carbón activado de hueso de aceituna. ..	26
Ilustración 7: Curvas de recuperación de plata con carbón activado de hueso de aceituna y cáscara de coco.....	27
Ilustración 8: Proceso de adsorción de plata con hueso de aceituna	27

RESUMEN

Esta investigación trata sobre la capacidad de adsorción de plata utilizando carbón activado obtenido a partir de hueso de aceituna. La metodología fue experimental, se recolectó huesos de aceituna, que fueron tratados mediante la activación química con ácido fosfórico al 85% de concentración. Se utilizó un gramo de carbón activado seco, para un litro de solución con 5 ppm de plata sintética, luego se agitó en rolator de botellas por 3 horas, durante la prueba se obtuvo alícuotas de 20 ml cada quince minutos para analizar la concentración de plata en la solución, luego se realizó los cálculos evaluando con las isotermas de Freundlich-Kuster y Langmuir. Además, se evaluó el porcentaje de atrición. Los ensayos se realizaron por triplicado, y se hizo en paralelo con una muestra comercial de carbón activado de cáscara de coco. Los resultados muestran que la activación química del hueso de aceituna tiene una capacidad de adsorción de 3.19 mg Ag/g carbón (63.8%), recuperación de plata de 66.20% y 12.33% de atrición. Se concluye que el carbón activado de hueso de aceituna obtenido por activación química presenta capacidad de adsorción 20% debajo del obtenido con el carbón activado de la cascara de coco obtenido por activación térmica.

PALABRAS CLAVES: Adsorción de plata, hueso de aceituna, carbón activado, activación química.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Se han desarrollado diversos métodos para la obtención de carbón activado, se clasifican en métodos de activación física y métodos de activación química (Macías-García et al., 2003); (Caturla et al., 1991). En la activación química se han desarrollado amplias investigaciones para la activación de diferentes materias primas, como maderas de castaño, cedro, nogal, cáscara de arroz, hueso de aceituna, hueso y cáscara de melocotón, semillas de uva, carbón sub bituminoso, cascara de coco (Girgis et al., 2007), (Demir, 2023), (Zhang et al., 2017).

La activación física o más conocida como activación térmica se ha desarrollado para diversos productos como las semillas de uva, esta tipo de activación es muy utilizado para la cáscara de coco (Jimenez-Cordero et al., 2013).

La activación química se utilizado hasta los años 1970 el $ZnCl_2$, luego para la activación química se han investigado diversos reactivos químicos como H_3PO_4 , HCl , HNO_3 , $FeCl_2$, $NaOH$, KOH (Demir, 2023), (Yang et al., 2022), (Khangwichian et al., 2021).

Para la activación química del hueso de aceituna, se ha estudiado diferentes concentraciones de H_3PO_4 , llegando hasta 85% en peso, sin embargo, las propiedades texturales del carbón se incrementan cuando disminuye la concentración del ácido fosfórico, la activación química con 36% en peso de ácido fosfórico es la que produce carbones activados con mejores propiedades de textura (Macías-García et al., 2003), y para el hueso y cáscara de melocotón se obtiene el óptimo con 50% en peso de ácido fosfórico (Girgis et al., 2007).

Para la activación química con H_3PO_4 del hueso de aceituna, es importante la temperatura de activación final, el tiempo y la concentración de H_3PO_4 en la etapa de impregnación sobre el desarrollo poroso. La activación a baja temperatura los microporos se desarrollan primero, la mesoporosidad se desarrolla alrededor de los $250\text{ }^\circ\text{C}$, y aumentó hasta los $400\text{ }^\circ\text{C}$, luego comienza a disminuir debido a la posible reducción de los poros. La temperatura óptima para el hueso de aceituna es de $400\text{ }^\circ\text{C}$ sobre la base del volumen total de poros y el área de superficie BET (Yavuz et al., 2010).

El carbón activado es uno de los principales productos dentro de la industria de la adsorción de metales preciosos, debido a que presenta una estructura cristalina parecida a la del grafito, se caracteriza por que posee alta superficie específica comparada con la del carbón antracita, ya que debido a su fabricación se eliminan las sustancias volátiles y se destruyen algunos enlaces moleculares débiles a través de tratamiento pirometalúrgico, es por eso que tiene la propiedad de adsorber gran cantidad de iones metálicos (Xia et al., 2022).

Este tipo de carbón activado presenta algunas características de importancia, para su producción se utilizan materias primas orgánicas como las cáscaras de coco, que es el carbón activado más usado en la industria de los metales preciosos durante el proceso de adsorción de complejos de oro y plata en solución, en el proceso de obtención de carbón activado de cáscara de coco por métodos de activación física se requiere que presenten propiedades importantes como buena velocidad de adsorción, gran capacidad de absorción y resistencia al desgaste, también se ha investigado para la adsorción de oro con otros materiales, como la biomasa de residuos agrícolas (Buah & Williams, 2012), huesos de nuez de palma, con resultados de adsorción similar o de mayor porcentaje que la cáscara de coco (Buah & Williams, 2013).

La búsqueda de alternativas para la obtención de carbón activado al obtenido de la cáscara de coco, para la adsorción de metales preciosos como oro y plata, que cumplan con los requerimientos técnicos para los procesos convencionales de carbón en pulpa (CIP), carbón en lixiviación (CIL) y carbón en columna (CIC), en los últimos años se ha enfocado en investigar al hueso de aceituna (Louarrat et al., 2019), (Baçaoui et al., 2001), (Khosravi et al., 2017).

El hueso de aceituna se ha estudiado mediante la activación física a 921 °C y con vapor de agua, obteniendo resultados satisfactorios, con índice de desgaste de 0.74% e índice de yodo superior a los 1100 mg/g (Louarrat et al., 2019).

Las propiedades físicas se obtuvieron mediante la determinación del desgaste, el contenido de cenizas, la materia volátil y el contenido de humedad de todos los carbones activados. Varios parámetros que afectan adsorción selectiva como el efecto de la concentración inicial, el tiempo, la velocidad de agitación, las especies que interfieren y la dosis del adsorbente (Tsolele et al., 2019).

Seyedhakimi et al., examinó varios modelos cinéticos y de equilibrio para la adsorción de oro (Au) y plata (Ag) de la solución de lixiviación con cianuro, sobre la superficie de granular de carbón activado (GAC) con 10, 35, 70 y 100% de actividades. Los resultados indicaron que la tasa inicial de adsorción para Au y Ag es similar y aumenta al aumentar las actividades del GAC (Seyedhakimi et al., 2019).

En esta investigación se busca comparar el carbón activado comercial obtenido de la cáscara de coco versus el carbón activado obtenido por activación química con H_3PO_4 en las propiedades de porcentaje de atrición, en la capacidad de carga del carbón activado y en la recuperación de plata sintética.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la capacidad de adsorción de plata utilizando carbón activado obtenido a partir de hueso de aceituna activado químicamente?

1.3. Objetivos

Determinar la capacidad de adsorción de plata del carbón activado obtenido a partir de hueso de aceituna activado químicamente.

Comparar la adsorción del carbón activado obtenido a partir de hueso de aceituna activado químicamente con el carbón activado térmicamente de cáscara de coco industrial.

1.4. Hipótesis

El carbón activado obtenido a partir de hueso de aceituna activado químicamente presenta alto porcentaje de adsorción de plata.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación fue aplicada, porque se comprobó la hipótesis de la adsorción de plata con carbón activado químicamente de hueso de aceituna comparado con el de cáscara de coco activado térmicamente, donde se aplicaron procedimientos de análisis aplicativo para compararlos.

El diseño de investigación en lo que respecta el trabajo de investigación, fue experimental, debido a que se manejó una mejor técnica de observación y reporte en las muestras y una evaluación completa del proceso de adsorción.

3.2. Variables y operacionalización

Modelo: V1 – X – V2

Se consideró como variable independiente: El carbón activado de hueso de aceituna. Asimismo, como variable dependiente se tiene: porcentaje de adsorción de plata.

3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población: en el presente trabajo, se consideró como población, a todos los huesos de aceituna.

Muestra: Se recopiló hueso de aceituna de diversos mercados de la ciudad de Trujillo.

Muestreo: Sobre este trabajo, el muestreo fue no probabilístico por conveniencia, obteniendo la cantidad de muestra requerida, según el diseño de investigación realizado por los investigadores.

Unidad de análisis: se utilizó una botella de vidrio de 3.8 litros, donde se colocó la solución preparada con iones de plata a 5 ppm, a pH natural, los ensayos se realizaron por triplicado.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Este trabajo utilizó una serie de técnicas, distribuidas de la siguiente manera: observación, que permitió una apreciación sistemática de la información del fenómeno estudiado; trabajo de laboratorio, que se basó en el registro de apuntes y la toma de muestras.

Sobre los instrumentos, a nivel del experimento, se utilizó material de laboratorio variado como el pH-metro (Medidor de pH), rolator de botellas (88 RPM), material de vidrio de laboratorio, agitador magnético para preparación de solución sintética de plata, así como indumentaria de recolección de las muestras: guantes descartables, frascos de vidrio, refrigerantes, cámara fotográfica, zapatos de seguridad, casco, y similares. Equipo espectrometría de absorción atómica para determinar la concentración de los metales de plata.

Se utilizaron fichas de recolección de datos, de los resultados obtenidos.

En cuando a la validez de estos instrumentos, fueron sometidos a verificación, mientras que la confiabilidad fue obtenida por medio de la observación y la referencia de algunos estudios previos(antecedentes).

3.5 Diseño de investigación:

Para la contrastación de la hipótesis se utilizará un modelo de diseño factorial para los cual se considerará las siguientes variables:

A) Variables Independientes

- Tipo de adsorbente: Hueso de aceituna activado químicamente.
Cáscara de coco activado térmicamente (industrial)
- Tiempo de contacto (min): 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 150 y 180 minutos

B) Variables Dependientes

- Porcentaje de adsorción de plata

C) Variables Paramétricas

- pH: natural
- Concentración de solución de plata 5 ppm.
- Velocidad *de agitación*: 88 RPM

1) Se recolectó muestras de hueso de aceituna procedentes del valle de Ica-Perú, el peso fue de 1 kg, se dejó secar a temperatura ambiente de 20 °C por 3 días. Luego se colocó en estufa de secado marca Schemin con ventilación forzada a 100°C ± 5°C durante 24 horas.

2) Luego se trituro la muestra de hueso de aceituna con la ayuda de un mortero de porcelana, y se utilizó los tamices de malla N°4 y N°10 (ASTM E-11), el material pasante a la malla N°4 y retenido en la malla N°10 se pesó y utilizó para la siguiente etapa.

3) Se utilizó ácido fosfórico de marca Spectrum, concentración de 98%, con relación de 3 a 1 (ácido/muestra), se pesó 100 g de la muestra triturada de hueso de aceituna y se colocó en un vaso de precipitado, luego se agregó el ácido fosfórico preparado a 85% de concentración y se dejó en reposo durante 24 horas.

4) Luego, se llevó la muestra mezclada a la estufa eléctrica a una temperatura de 158°C ± 5°C, durante 20 minutos, para evaporar el ácido fosfórico, durante la evaporación del ácido fue tornándose a un color más oscuro.

5) Se preparó bicarbonato de sodio marca White flowing powder con una pureza de 99%, se preparó al 5% en agua desionizada, para lavar la muestra y conseguir pH de 5.5. Se pasó a filtrar la muestra para tener una mejor limpieza y obtener el pH deseado, seguido se lavó con agua desionizada. Al finalizar se llevó a la estufa de secado a 100°C ± 5°C durante 24 horas para eliminar la humedad, Tabla I y Fig. 1.

6) Luego se pesó el producto obtenido en una balanza analítica marca A&D, modelo GR-200 (Condori, s. f.)

3.7. Método de análisis de datos

Se desarrolló un método comparativo, que arrojó 3 diferentes subprocesos. En primer lugar, se organizaron los resultados en cuadros, posteriormente, se presentaron medias numéricas de los valores mencionados en varias unidades (mg/L, %, g/g) junto con sus gráficas estadísticas. El método estadístico de análisis del modelo de influencia fue la R^2 , obtenidos con las isothermas de Langmuir y Frenudlich, así como el análisis de varianza

Adsorción de plata con carbón activado de hueso de aceituna determinado con $P_{value} = 0.05$. El análisis de datos se realizó con el Software MINITAB versión 2019.

Tabla 1: Parámetros en fase de activación química

Descripción de ensayo	Unidad
Temperatura de ebullición	158 °C
Tamaño de partícula (N° malla, ASTM E-11)	10
Concentración del activador (Ácido fosfórico)	85%
pH de la muestra	5.5

Ilustración 1: Preparación de hueso de aceituna



Hueso de aceituna (Izquierda), triturada y seca antes de utilizar ácido fosfórico (centro), hueso de aceituna después de aplicar ácido fosfórico, carbón activado en proceso de secado (Derecha).

B. Prueba de atrición

1) Se realizó el peso de 20 g de muestra de carbón y se lavó con agua desionizada para eliminar todos los finos adheridos, luego se tamizó usando la malla N°10 (ASTM E-11).

2) Se secó el grueso por espacio de 5 horas a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$

3) Se obtuvo una muestra seca de 100 gramos registrando como peso inicial (P_i), y se agregó 1000 ml de agua desionizada.

4) Se agitó utilizando agitador magnético por espacio de 2 horas a 600 rpm.

5) Después se tamizó por malla N°10 (ASTM E-11), con ayuda de agua desionizada para el lavado.

6) Se secó el material retenido en la malla por espacio de 5 horas a $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

7) Se enfrió en el desecador de vidrio y se pesó (P_f).

8) El porcentaje de atrición se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{Atrición (\%)} = \left[\frac{P_i - P_f}{P_i} \right] \times 100 \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

P_i : Concentración inicial de estándar

P_f : Concentración a obtener

C. Preparación de solución de plata

Se preparó una solución con concentración de plata de 5 ppm, a partir de una solución estándar de 1000 ppm marca SCP Science-plasmaCAL, utilizando la ecuación de dilución:

$$C1 \times V1 = C2 \times V2 \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

C1: Concentración inicial de estándar

C2: Concentración a obtener

V2: volumen de solución a preparar

D. Determinación de la dosis de partida de adsorbente

Para determinar la dosis se usó la capacidad de adsorción de un carbón comercial (CalgonCarbón) el cual es 10g Au/kg de carbón. La cantidad de adsorbente se determinó con la siguiente ecuación [18]:

$$Dosis \left(\frac{g}{L} \right) = \frac{CoAu + CoAg}{q} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

COAu: Concentración inicial de oro (mg/L)

COAg: Concentración inicial de plata (mg/L)

q : Capacidad de adsorción del carbón comercial (mg/g)

E. Adsorción de plata

- 1) Luego de lavar con agua desionizada sobre la malla N°10 (ASTME-11) una muestra representativa de carbón (50 a 100 g), se dejó secar en estufa a $100^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ durante 5 horas.
- 2) Luego se enfrió la muestra en el desecador.
- 3) Se pesó 1 g de carbón en balanza analítica marca A&D, modelo GR-200.
- 4) En una fiola de 1000 ml, se aforó la solución de plata preparada a 5 ppm, luego se agregó en botella de vidrio de 3.8 litros, y se adicionó el gramo de carbón activado de hueso de aceituna.
- 5) Las botellas con solución de plata y carbón activado, se agitaron sobre la mesa de rodillos, se sacaron alícuotas de 10 ml cada 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 150 y 180 minutos y se analizó por plata mediante espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Pinaacle 500.
- 6) Con los datos obtenidos se determina la capacidad de adsorción mediante las isotermas de Freundlich-Kuster, y la velocidad de adsorción de plata con las isotermas de Langmuir.
- 7) El ensayo de adsorción se hizo por triplicado con carbón activado químicamente de cáscara de hueso de aceituna y en forma similar se realizó con carbón activado comercial de cáscara de coco, para efecto comparativo (Condori, s. f.)

CAPÍTULO III: RESULTADOS

A. *Propiedades físicas de hueso de aceituna*

Se obtuvo los resultados de porcentaje de humedad y cenizas de la muestra de hueso de aceituna sin activar y hueso de aceituna activada químicamente con ácido fosfórico, Tabla II, donde se puede observar que el hueso de aceituna presenta 2.44% de cenizas, corroborando con los resultados mostrados en la tabla 3 de la investigación realizada por Barreto (Barreto Pío, 2013), sin embargo, el hueso de aceituna activado químicamente presenta $2.96\% \pm 0.13$ de cenizas, que corrobora y con la investigación de Filippín et al., donde se observa que a la temperatura de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ se obtiene de $2.59\% \pm 0.11$ (Filippín et al., 2017)

Tabla 2: Propiedades físicas de hueso de aceituna con y sin activación química

Compuestos	Hueso de aceituna secado al ambiente 20°C	Hueso de aceituna (con activación química)
Humedad (%)	9.55 ± 0.12	8.78 ± 0.11
Cenizas (%)	2.44 ± 0.14	2.96 ± 0.13

Tabla 3: Propiedades físicas de hueso de aceituna sin activación química

Compuestos	Porcentaje, %
Carbón fijo	21.85
Volátiles	68.93
Cenizas	1.42
Humedad	7.8

Nota: (Barreto Pío, 2013)

B. Porcentaje de atrición de carbón activado de hueso de aceituna

El carbón activado de hueso de aceituna químicamente con ácido fosfórico presenta una alta variación en el porcentaje de atrición comparada con el

Tabla 4.

Tabla 4 Porcentaje de atrición

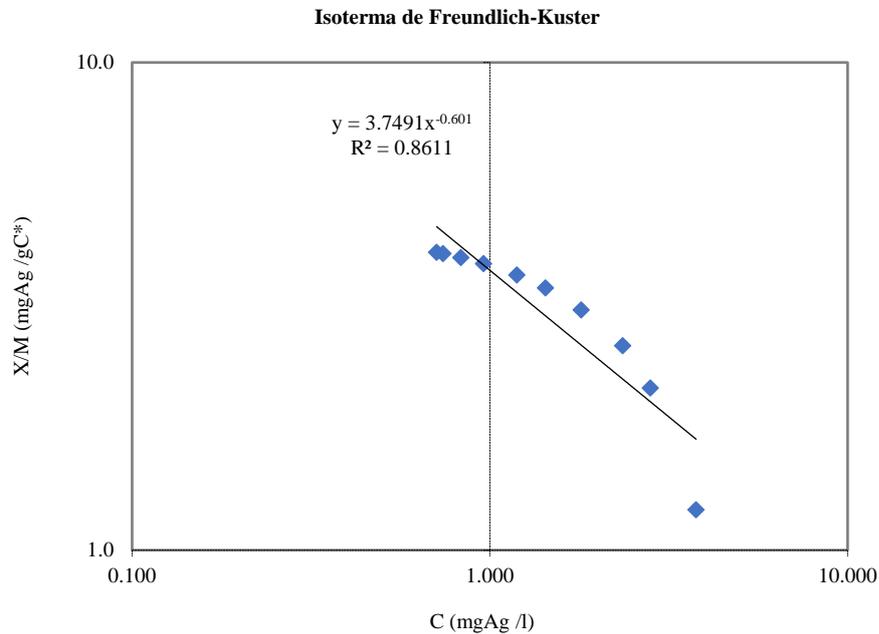
Tipo de carbón activado	Atrición (%)
De hueso de aceituna, activación química.	12.33 ± 0.83
De cáscara de coco (muestra comercial), activación térmica	5.96 ± 0.75

C. Capacidad de carga de plata con carbón activado de cáscara de coco y carbón activado de hueso de aceituna

Se obtuvo la capacidad de carga de plata utilizando carbón activado de cáscara de coco, al realizar la isoterma de Freundlich-Kuster, con los valores de adsorción se obtuvo las constantes $b = 3.7491$ y $m = 0.601$, con el modelo matemático de $3.7491C^{-0.601}$ como se observa en la Fig. 2.

Los resultados de equilibrio en la adsorción de Ag muestran que se obtuvo buen ajuste con el modelo de Freundlich con valores del coeficiente de determinación R^2 de 0.8611. De acuerdo con este modelo se obtuvo el parámetro de intensidad de adsorción de 0.601 y la afinidad del adsorbente por el adsorbato (b) 3.7491, los cuales indican enlaces débiles entre el carbón activado y los iones de Ag y se da una adsorción en multicapas, por lo tanto, este tipo de adsorción es físico.

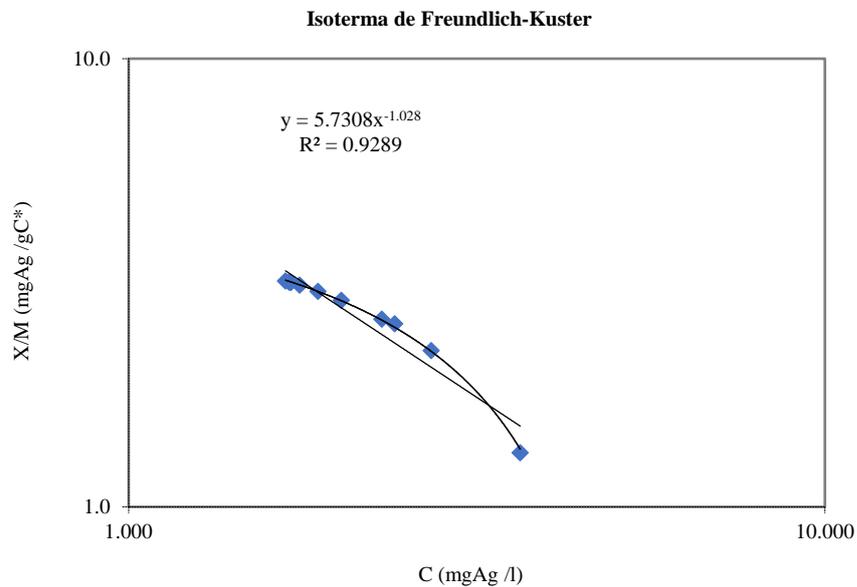
Ilustración 2: Isoterma de Freundlich-Kuster para CA de cáscara de coco comercial



Se obtuvo la capacidad de carga de plata utilizando carbón activado de hueso de aceituna, al realizar la isoterma de Freundlich-Kuster, con los valores de adsorción se obtuvo las constantes $b = 5.7308$ y $m = 1.028$, dando un modelo matemático de $5.7308C^{1.028}$ como se observa en la Fig. 3.

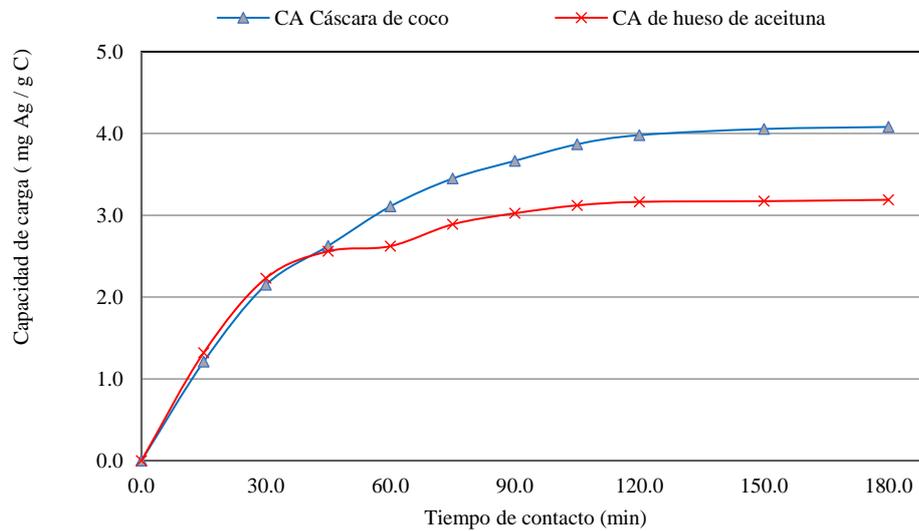
Los resultados de equilibrio en la capacidad adsorción de Ag con carbón activado químicamente de hueso de aceituna, muestran que se obtuvo buen ajuste con el modelo de Freundlich con valores del coeficiente de determinación R^2 de 0.9289, un poco por debajo al obtenido con carbón activado de cáscara de coco. De acuerdo con este modelo matemático se obtuvo el parámetro de intensidad de adsorción de 1.028 y la afinidad del adsorbente por el adsorbato (b) 5.7308, los cuales indican enlaces débiles entre el carbón activado y los iones de Ag y se da una adsorción en multicapas, por lo tanto, este tipo de adsorción es físico. (Condori, s. f.).

Ilustración 3: Isoterma de Freundlich-Kuster para carbón activado de hueso de aceituna.



Los resultados de la capacidad adsorción de Ag con carbón activado químicamente de hueso de aceituna, comparado con el carbón activado de cáscara de coco (muestra comercial), Fig. 4, muestran que hasta los 45 minutos de contacto presentan un comportamiento similar, luego la capacidad de adsorción de la cáscara de coco se incrementa llegando a obtener cerca de 4.08 mg Ag/g de carbón activado en 180 minutos de contacto por agitación, y la capacidad de adsorción de la plata con el carbón activado químicamente del hueso de aceituna se obtuvo 3.19 mg Ag/g de carbón activado, mostrando que la activación térmica de la cáscara de coco presenta mayor capacidad de adsorción de plata al obtenido con la activación química con el hueso de aceituna.

Ilustración 4: Curvas de capacidad de plata (mg Ag/gC) en función del tiempo, para carbón activado de hueso de aceituna y cáscara de coco



D. Recuperación de plata con carbón activado de cáscara de coco y carbón activado de hueso de aceituna

Se puede apreciar en la Fig. 5 y 6, los datos experimentales ajustados al modelo de Langmuir para carbón activado de cáscara de coco y carbón activado de hueso de aceituna respectivamente, donde presenta R^2 de 0.9915 para carbón activado de cáscara de coco y 0.9963 para hueso de aceituna, siendo ambos valores muy cercanos a la unidad, lo cual indica que los datos experimentales cumplen con este modelo matemático (9_BIOADSORCION PLOMO, s. f.).

Ilustración 5: Isoterma de Langmuir para carbón activado de cáscara de coco comercial.

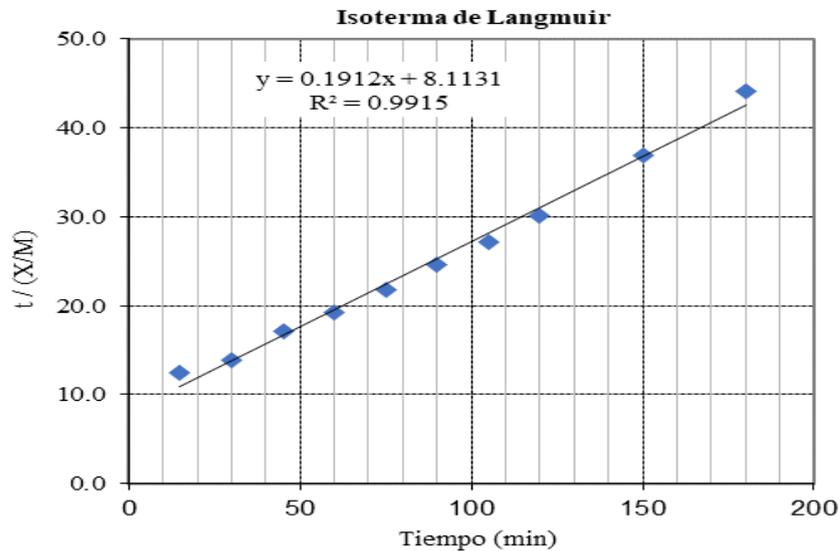
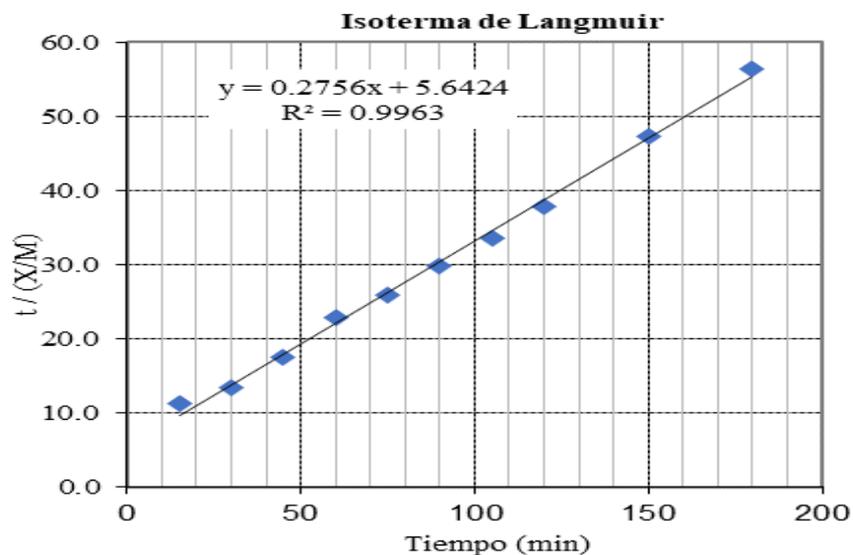


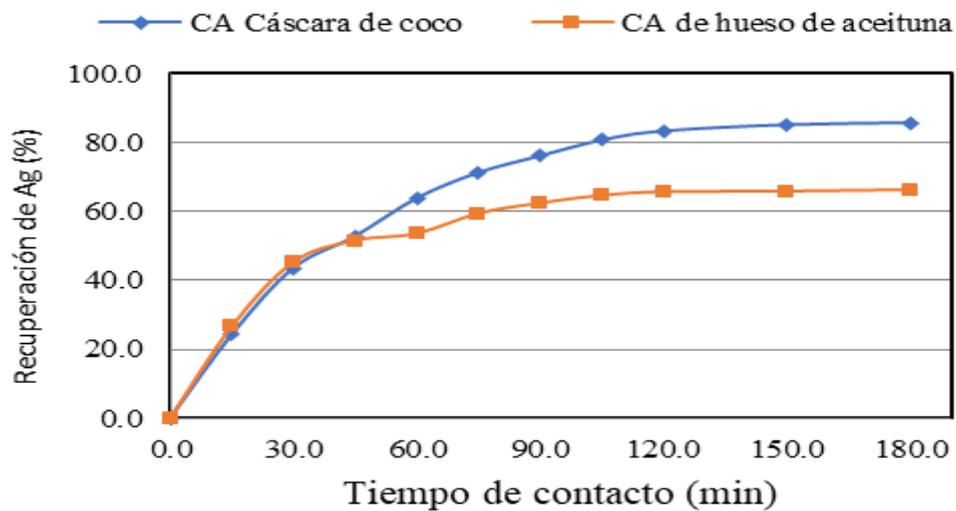
Ilustración 6: Isoterma de Langmuir para carbón activado de hueso de aceituna.



Los resultados de la recuperación de plata con carbón activado químicamente de hueso de aceituna comparado con el carbón activado de cáscara de coco (muestra comercial), se observa en la Fig. 7, donde se aprecia dos curvas que tienen forma asintótica, donde ambos carbones presentan una tendencia similar hasta los 45 minutos, luego el carbón activado de cáscara de coco se incrementa en la recuperación de plata,

Adsorción de plata con carbón activado de hueso de aceituna obteniendo en 180 minutos 85.7% de recuperación de plata y con carbón activado de hueso de aceituna 66.2% de recuperación, siendo muy significativo la diferencia entre ambos, de aproximadamente 20%. Ambas recuperaciones están por debajo del óptimo esperado, esto puede ser debido al tiempo que requiere mayor contacto de agitación del carbón activado con la solución con ion metálico, y además de incrementar la dosis de carbón activado, para este caso se consideró los datos de la hoja técnica del carbón activado de cáscara de coco, siendo 10 mgAg/g carbón activado.

Ilustración 7: Curvas de recuperación de plata con carbón activado de hueso de aceituna y cáscara de coco.



En la Fig. 8, se puede observar el uso de aceituna antes de agregar ácido fosfórico (lado izquierdo), carbón activado de hueso de aceituna después de la activación química y secado (centro), y la imagen derecha corresponde al carbón activado de hueso de aceituna después de la adsorción de plata. Fotos tomadas con Estereoscopio con cámara en tiempo real (Amscope, SM-1TSZ-V203, EE.UU.)

Ilustración 8: Proceso de adsorción de plata con hueso de aceituna





Adsorción de plata con carbón activado de hueso de aceituna

Nota: Hueso de aceituna seca antes de utilizar ácido fosfórico (izquierda), hueso de aceituna después de activarlo con ac. fosfórico (centro), carbón activado después de proceso de adsorción de plata (Derecha).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se obtuvo carbón activado de hueso de aceituna, mediante activación química con ácido fosfórico, el carbón activado obtenido presenta capacidad de adsorción de plata de 3.19 mg Ag por cada gramo de carbón activado, además de 66.2% de recuperación de plata en tres horas de agitación en rodillos, a 44 revoluciones por minuto y temperatura ambiente.

El carbón activado de hueso de aceituna, presenta 12.33% de atrición, aproximadamente 50% mayor al porcentaje de atrición del carbón activado de cáscara de coco utilizado como comparación en esta investigación que es de 5.96%, sin embargo, este porcentaje de atrición es un buen indicador que se podría utilizar a nivel industrial, como en tanques de agitación, o con flujos elevados de soluciones con iones metálicos.

En la comparación de la capacidad de adsorción y recuperación de plata con carbón activado de cáscara de coco (muestra comercial) y carbón activado de hueso de aceituna, presentaron hasta los 45 minutos de agitación similar comportamiento, con tendencia lineal, de los 45 a 180 a minutos, la diferencia de adsorción y recuperación de plata es mayor, mostrando una tendencia asintótica, resultando en aproximadamente 20% de diferencia, favorable al carbón activado de cáscara de coco, sin embargo, la comparación fue realizada con cáscara de coco activado térmicamente frente a la activación química del hueso de aceituna.

Para incrementar la capacidad de adsorción y recuperación de plata, como en investigaciones realizadas que llegan a 99% de recuperación de plata por adsorción en carbón activado de cáscara de coco, para lo cual usan más dosis de absorbente, más del calculado, para este caso se estimó en base a la hoja técnica del carbón activado comercial,

Adsorción de plata con carbón activado de hueso de aceituna de 10 mg Ag por gramo de carbón activado. En la parte industrial se usa dosis mayores de carbón activado, para una mayor velocidad de recuperación del ion metálico.

Dado la capacidad de adsorción que presenta el carbón activado de hueso de aceituna, se sugiere ampliar la investigación para determinar la capacidad de adsorción de oro hasta 72 horas como se realiza en la aplicación industrial considerando soluciones pregnant que contienen además otros iones, también es importante evaluar en soluciones con sólidos con relación L:S de 2:1, para determinar su aplicabilidad en sector minero. Con esto se tendría una materia prima alternativa.

REFERENCIAS

9_BIOADSORCION PLOMO. (s. f.). Recuperado 30 de septiembre de 2022, de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/download/2829/3012>

Baçaçoui, A., Yaacoubi, A., Dahbi, A., Bennouna, C., Phan Tan Luu, R., Maldonado-Hodar, F. J., Rivera-Utrilla, J., & Moreno-Castilla, C. (2001). Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes. *Carbon*, 39(3), 425-432. Scopus. [https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(00\)00135-4](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(00)00135-4)

Barreto Pío, C. E. (2013). Obtención de carbón activado a partir de la pepa de la aceituna para adsorción de metales pesados (Pb, As) en efluentes líquidos. *Universidad Nacional del Callao*. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/2005>

Buah, W. K., & Williams, P. T. (2012). Agricultural waste biomass converted to activated carbon as a material for gold processing. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 14(4), 396-402. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s10163-012-0083-8>

Buah, W. K., & Williams, P. T. (2013). Granular activated carbons from palm nut shells for gold di-cyanide adsorption. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 20(2), 172-179. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s12613-013-0710-y>

Caturla, F., Molina-Sabio, M., & Rodríguez-Reinoso, F. (1991). Preparation of activated carbon by chemical activation with ZnCl₂. *Carbon*, 29(7), 999-1007. Scopus. [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(91\)90179-M](https://doi.org/10.1016/0008-6223(91)90179-M)

Condori, B. E. L. (s. f.). (*Proyecto de investigación*). 121.

Demir, U. (2023). Determination of various properties of obtained activated carbon from high sulfur coal by chemical activation methods. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1), 371-379. Scopus. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.795203>

Filippín, A. J., Luna, N. S., Pozzi, M. T., & Pérez, J. D. (2017). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS OLIVÍCOLAS Y OLEÍCOLAS POR ACTIVACION FÍSICA. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 14.

Girgis, B. S., Attia, A. A., & Fathy, N. A. (2007). Modification in adsorption characteristics of activated carbon produced by H₃PO₄ under flowing gases. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 299(1-3), 79-87. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.11.024>

Jimenez-Cordero, D., Heras, F., Alonso-Morales, N., Gilarranz, M. A., & Rodriguez, J. J. (2013). Development of porosity upon physical activation of grape seeds char by gas phase oxygen chemisorption-desorption cycles. *Chemical Engineering Journal*, 231, 172-181. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.07.005>

Khangwichian, W., Pattamasewe, S., Laungphairojana, A., Leasing, R., Hunt, A. J., & Ngernyen, Y. (2021). Preparation of activated carbons from hydrolyzed dipterocarpus alatus leaves: Value added product from biodiesel production waste. *Nihon Enerugi Gakkaishi/Journal of the Japan Institute of Energy*, 100(10), 219-224. Scopus. <https://doi.org/10.3775/JIE.100.219>

Khosravi, R., Azizi, A., Ghaedrahmati, R., Gupta, V. K., & Agarwal, S. (2017). Adsorption of gold from cyanide leaching solution onto activated carbon originating from coconut shell— Optimization, kinetics and equilibrium studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 54, 464-471. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.06.036>

Louarrat, M., Enaime, G., Baçaoui, A., Yaacoubi, A., Blin, J., & Martin, L. (2019). Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from olive stones for application in gold recovery. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 119(3), 297-306. Scopus. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2019/v119n3a9>

Macías-García, A., Díaz-Díez, M. A., Gómez-Serrano, V., & González, M. C. F. (2003). Preparation and characterization of activated carbons made up from different woods by chemical activation with H₃PO₄. *Smart Materials and Structures*, 12(6), N24-N28. Scopus. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/12/6/N03>

Seyedhakimi, A., Bastami, S. A., Ghassa, S., Razavi, H., & Chehreh Chelgani, S. (2019). Exploring relationships between various activations of granular activated carbon on silver and gold adsorption: A kinetic and equilibrium study. *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, 54(11), 1710-1721. Scopus. <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1540635>

Tsolele, R., Mtunzi, F. M., Klink, M. J., & Pakade, V. E. (2019). An alternative low-cost adsorbent for gold recovery from cyanide-leached liquors: Adsorption isotherm and kinetic studies. *Adsorption Science and Technology*, 37(1-2), 3-23. Scopus. <https://doi.org/10.1177/0263617418802557>

Xia, J., Marthi, R., Twinney, J., & Ghahreman, A. (2022). A review on adsorption mechanism of gold cyanide complex onto activation carbon. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 111, 35-42. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.04.014>

Yang, F., Cao, S., Tang, Y., Yin, K., Gao, Y., & Pang, H. (2022). HCl-activated porous nitrogen-doped carbon nanopolyhedras with abundant hierarchical pores for ultrafast desalination. *Journal of Colloid and Interface Science*, 628, 236-246. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.07.153>

Yavuz, R., Akyildiz, H., Karatepe, N., & Çetinkaya, E. (2010). Influence of preparation conditions on porous structures of olive stone activated by H₃PO₄. *Fuel Processing Technology*, 91(1), 80-87. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.08.018>

Zhang, M., Li, Y., Si, H., Wang, B., & Song, T. (2017). Preparation and electrochemical performance of coconut shell activated carbon produced by the H₃PO₄ activation with rapid cooling method. *International Journal of Electrochemical Science*, 12(8), 7844-7852. Scopus. <https://doi.org/10.20964/2017.08.37>