

Silver adsorption with olive pit activated carbon

José Abraham Paredes Mendoza, Bach.¹, José Isidro Palma Ledesma, Bach.¹, Wilson Carlos Gomez Hurtado, Mg.¹,

Juan Antonio Vega Gonzalez, Dr.²

¹Facultad de Ingeniería-Ing. de Minas, Universidad Privada del Norte, Perú, N00121167@upn.pe,
n00120171@upn.pe, wilson.gomez@upn.pe,

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, jvega@unitru.edu.pe,

Abstract– *This research deals with the adsorption capacity of silver using activated carbon obtained from olive pits. The methodology was experimental, olive pits were collected and treated by chemical activation with phosphoric acid at 85% concentration. One gram of dry activated carbon was used for one liter of solution with 5 ppm of synthetic silver, then it was shaken in a bottle roller for 3 hours. During the test, aliquots of 20 ml were obtained every fifteen minutes to analyze the concentration of silver in the solution, then the calculations were made by evaluating with the Freundlich-Kuster and Langmuir isotherms. In addition, the percentage of attrition was evaluated. The tests were performed in triplicate, and were done in parallel with a commercial sample of coconut shell activated carbon. The results show that the chemical activation of olive pit has an adsorption capacity of 3.19 mg Ag/g charcoal (63.8%), silver recovery of 66.20% and 12.33% attrition. It is concluded that the olive pit activated carbon obtained by chemical activation presents adsorption capacity 20% below that obtained with the coconut shell activated carbon obtained by thermal activation.*

Keywords–Silver adsorption, olive pit, activated carbon, chemical activation.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.82>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

Adsorción de plata con carbón activado de hueso de aceituna

José Abraham Paredes Mendoza, Bach.¹, José Isidro Palma Ledesma, Bach.¹, Wilson Carlos Gomez Hurtado, Mg.¹, Juan Antonio Vega Gonzalez, Dr.²

¹Facultad de Ingeniería-Ing. de Minas, Universidad Privada del Norte, Perú, N00121167@upn.pe, n00120171@upn.pe, wilson.gomez@upn.pe,

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, jvega@unitru.edu.pe,

Abstract– *This research deals with the adsorption capacity of silver using activated carbon obtained from olive pits. The methodology was experimental, olive pits were collected and treated by chemical activation with phosphoric acid at 85% concentration. One gram of dry activated carbon was used for one liter of solution with 5 ppm of synthetic silver, then it was shaken in a bottle roller for 3 hours. During the test, aliquots of 20 ml were obtained every fifteen minutes to analyze the concentration of silver in the solution, then the calculations were made by evaluating with the Freundlich-Kuster and Langmuir isotherms. In addition, the percentage of attrition was evaluated. The tests were performed in triplicate, and were done in parallel with a commercial sample of coconut shell activated carbon. The results show that the chemical activation of olive pit has an adsorption capacity of 3.19 mg Ag/g charcoal (63.8%), silver recovery of 66.20% and 12.33% attrition. It is concluded that the olive pit activated carbon obtained by chemical activation presents adsorption capacity 20% below that obtained with the coconut shell activated carbon obtained by thermal activation.*

Keywords–Silver adsorption, olive pit, activated carbon, chemical activation.

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 isothermas 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 clave—Adsorción de plata, hueso de aceituna, carbón activado, activación química.

I. INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado diversos métodos para la obtención

de carbón activado, se clasifican en métodos de activación física y métodos de activación química [1][2]. 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 [3][4][5].

La activación física o mas 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 [6].

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 [4] [7] [8].

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 [1], y para el hueso y cáscara de melocotón se obtiene el óptimo con 50% en peso de ácido fosfórico [3].

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 °C, y aumentó hasta los 400 °C, luego comienza a disminuir debido a la posible reducción de los poros. La temperatura óptima para el hueso de aceituna es de 400 °C sobre la base del volumen total de poros y el área de superficie BET [9].

El carbón activado es uno de las 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 [10].

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

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.82>
ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

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 [11], huesos de nuez de palma, con resultados de adsorción similar o de mayor porcentaje que la cáscara de coco [12].

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 [13] [14] [15].

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 [13].

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 [16].

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 [17].

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.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Obtención de hueso de aceituna

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 $\pm$ 5°C durante 24 horas.

2) Luego se trituró 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 $\pm$ 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 $\pm$ 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 [18].

TABLA I
PARÁMETROS EN FASE DE ACTIVACIÓN QUÍMICA

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

Fig. 1 Hueso de aceituna (Der.), 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°C $\pm$ 5°C

3) Se obtuvo una muestra seca de 100 gramos registrando como peso inicial (Pi), 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°C $\pm$ 5°C.

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

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

$$\text{Porcentaje de atrición} = [(P_i - P_f) / P_i] \times 100 \quad (1)$$

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:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (2)$$

Donde:

C_1 : Concentración inicial de estándar

C_2 : Concentración a obtener

V_2 : 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]:

$$\text{Dosis (g/L)} = (C_{0Au} + C_{0Ag})/q \quad (3)$$

Donde:

C_{0Au} : Concentración inicial de oro (mg/L)

C_{0Ag} : 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 isothermas de Freundlich-Kuster, y la velocidad de adsorción de plata con las isothermas 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 [18].

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 III de la investigación realizada por Barreto [19], 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°C se obtiene de $2.59\% \pm 0.11$ [20].

TABLA II
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 III
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 C., 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 carbón activado de cáscara de coco (muestra comercial - usada en minería), Tabla IV.

TABLA IV
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.

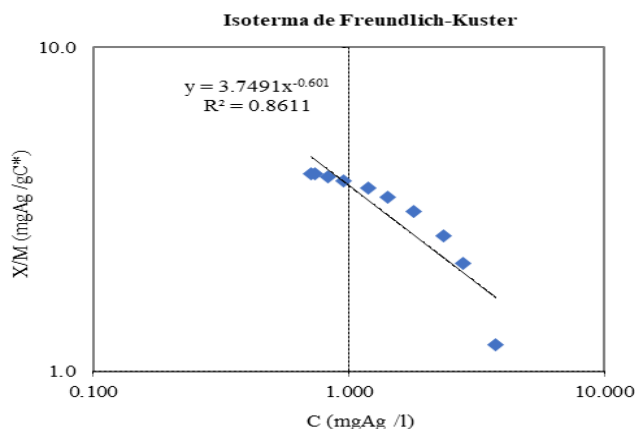


Fig. 2 Isoterma de Freundlich-Kuster para CA de cáscara de coco comercial.

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. [18].

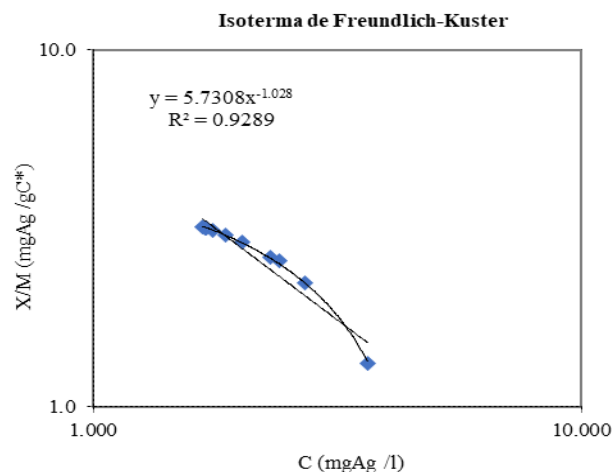


Fig. 3 Isoterma de Freundlich-Kuster para carbón activado de hueso de aceituna.

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.

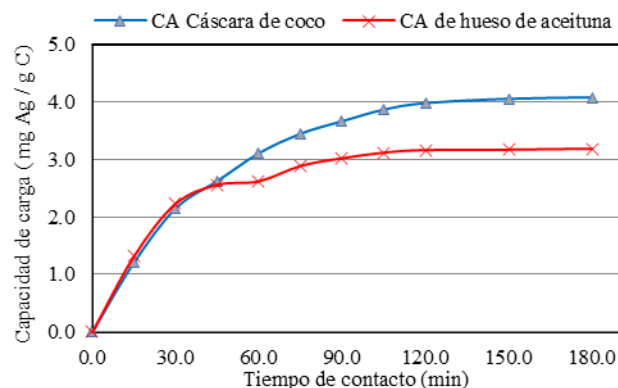


Fig. 4 Curvas de capacidad de plata (mg Ag/gC) en función del tiempo, para carbón activado de hueso de aceituna y cáscara de coco.

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 [21].

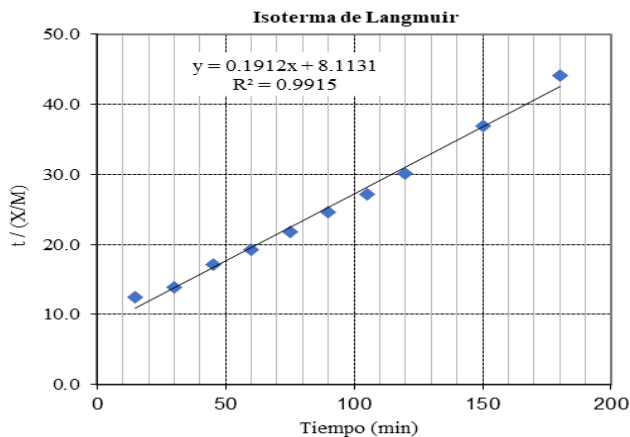


Fig. 5 Isoterma de Langmuir para carbón activado de cáscara de coco comercial.

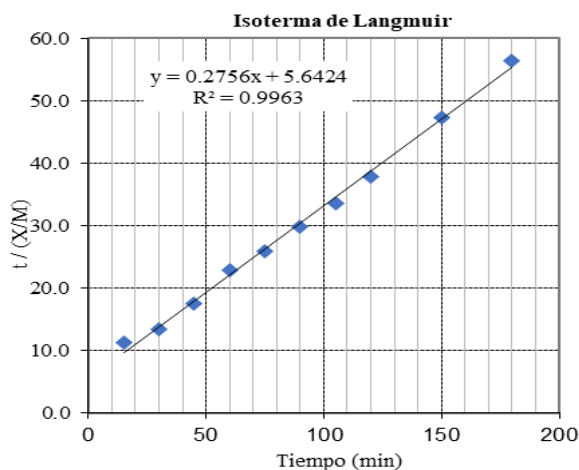


Fig. 6 Isoterma de Langmuir para carbón activado de hueso de aceituna.

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, 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.

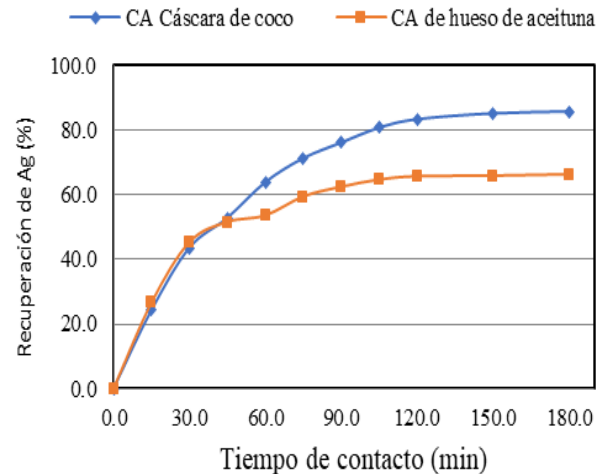


Fig. 7 Curvas de recuperación de plata con carbón activado de hueso de aceituna y cáscara de coco.

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.)

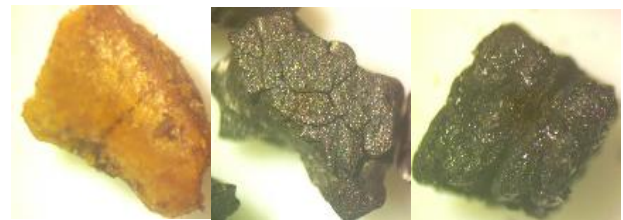


Fig. 8 Hueso de aceituna seca antes de utilizar ácido fosfórico (izquierda), hueso de aceituna después de activarlo con ac. fosfórico (centro), carbón activado después de proceso de adsorción de plata (Derecha).

IV. 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 carbon 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, 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.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada del Norte. A la Universidad Nacional de Trujillo por la colaboración en el uso de laboratorio de Procesamiento de Minerales.

REFERENCES

- [1] A. Macías-García, M. A. Díaz-Díez, V. Gómez-Serrano, y M. C. F. González, «Preparation and characterization of activated carbons made up from different woods by chemical activation with H₃PO₄», *Smart Mater. Struct.*, vol. 12, n.º 6, pp. N24-N28, 2003.
- [2] F. Caturla, M. Molina-Sabio, y F. Rodríguez-Reinoso, «Preparation of activated carbon by chemical activation with ZnCl₂», *Carbon*, vol. 29, n.º 7, pp. 999-1007, 1991..
- [3] B. S. Girgis, A. A. Attia, y N. A. Fathy, «Modification in adsorption characteristics of activated carbon produced by H₃PO₄ under flowing gases», *Colloids Surf. Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 299, n.º 1-3, pp. 79-87, 2007.
- [4] U. Demir, «Determination of various properties of obtained activated carbon from high sulfur coal by chemical activation methods», *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, vol. 38, n.º 1, pp. 371-379, 2023.
- [5] M. Zhang, Y. Li, H. Si, B. Wang, y T. Song, «Preparation and electrochemical performance of coconut shell activated carbon produced by the H₃PO₄ activation with rapid cooling method», *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 12, n.º 8, pp. 7844-7852, 2017.

- [6] D. Jimenez-Cordero, F. Heras, N. Alonso-Morales, M. A. Gilarranz, y J. J. Rodriguez, «Development of porosity upon physical activation of grape seeds char by gas phase oxygen chemisorption-desorption cycles», *Chem. Eng. J.*, vol. 231, pp. 172-181, 2013.
- [7] F. Yang, S. Cao, Y. Tang, K. Yin, Y. Gao, y H. Pang, «HCl-activated porous nitrogen-doped carbon nanopolyhedras with abundant hierarchical pores for ultrafast desalination», *J. Colloid Interface Sci.*, vol. 628, pp. 236-246, 2022.
- [8] W. Khangwichian, S. Pattamasewe, A. Laungphairojana, R. Leasing, A. J. Hunt, y Y. Ngernyen, «Preparation of activated carbons from hydrolyzed dipterocarpus alatus leaves: Value added product from biodiesel production waste», *Nihon Enerugi Gakkaishi Journal Jpn. Inst. Energy*, vol. 100, n.º 10, pp. 219-224, 2021.
- [9] R. Yavuz, H. Akyildiz, N. Karatepe, y E. Çetinkaya, «Influence of preparation conditions on porous structures of olive stone activated by H₃PO₄», *Fuel Process. Technol.*, vol. 91, n.º 1, pp. 80-87, 2010.
- [10] J. Xia, R. Marthi, J. Twinney, y A. Ghahreman, «A review on adsorption mechanism of gold cyanide complex onto activation carbon», *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 111, pp. 35-42, 2022.
- [11] W. K. Buah y P. T. Williams, «Agricultural waste biomass converted to activated carbon as a material for gold processing», *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 14, n.º 4, pp. 396-402, 2012.
- [12] W. K. Buah y P. T. Williams, «Granular activated carbons from palm nut shells for gold di-cyanide adsorption», *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, vol. 20, n.º 2, pp. 172-179, 2013.
- [13] M. Louarrat, G. Enaime, A. Baçaoui, A. Yaacoubi, J. Blin, y L. Martin, «Optimization of conditions for the preparation of activated carbon from olive stones for application in gold recovery», *J. South. Afr. Inst. Min. Metall.*, vol. 119, n.º 3, pp. 297-306, 2019.
- [14] A. Baçaoui et al., «Optimization of conditions for the preparation of activated carbons from olive-waste cakes», *Carbon*, vol. 39, n.º 3, pp. 425-432, 2001,
- [15] R. Khosravi, A. Azizi, R. Ghaedrahmati, V. K. Gupta, y S. Agarwal, «Adsorption of gold from cyanide leaching solution onto activated carbon originating from coconut shell—Optimization, kinetics and equilibrium studies», *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 54, pp. 464-471, 2017,
- [16] R. Tsolele, F. M. Mtunzi, M. J. Klink, y V. E. Pakade, «An alternative low-cost adsorbent for gold recovery from cyanide-leached liquors: Adsorption isotherm and kinetic studies», *Adsorpt. Sci. Technol.*, vol. 37, n.º 1-2, pp. 3-23, 2019.
- [17] A. Seyedhakimi, S. A. Bastami, S. Ghassa, H. Razavi, y S. Chehreh Chelgani, «Exploring relationships between various activations of granular activated carbon on silver and gold adsorption: A kinetic and equilibrium study», *Sep. Sci. Technol. Phila.*, vol. 54, n.º 11, pp. 1710-1721, 2019..
- [18] B. E. L. Condori, «(Proyecto de investigación)», p. 121.
- [19] C. E. B. Pio, «A 034OBTENCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE LA A PEPA DE LA ACEITUNA PARA ADSORCION DE METALES PESADOS (Pb, As) EN EFLUENTES LIQUIDOS 035», p. 57.
- [20] A. J. Filippin, N. S. Luna, M. T. Pozzi, y J. D. Pérez, «OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE RESIDUOS OLIVÍCOLAS Y OLEÍCOLAS POR ACTIVACION FÍSICA», *Av. En Cienc. E Ing.*, p. 14, 2017.
- [21] «9_BIOADSORCION PLOMO», <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/download/2829/3012> (accedido 22 de septiembre de 2022).