

Obtención de carbón activado por tratamiento térmico como alternativa de aprovechamiento de la cascarilla de *Theobroma cacao*, L.

Obtaining Activated Carbon by Heat Treatment as an Alternative to Use the Husk of *Theobroma cacao*, L.

Obtenção de carbão ativado por tratamento térmico como uma alternativa de aproveitamento da casca *Theobroma cacao*, L

Eduard Maita Ortiz ⁽¹⁾

eduard.j.maita@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3873-067X>

Liliana Murillo ⁽²⁾

lilianac28@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5978-3658>

Eury Castillo ⁽²⁾

yruecast@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4500-5062>

¹U.E.P. Colegio San Ignacio de Loyola

²Universidad Pedagógica Experimental Libertador – Instituto Pedagógico de Caracas, Venezuela.

Artículo recibido en mayo, arbitrado en junio y publicado en septiembre 2020

RESUMEN

La cascarilla de cacao es un residuo agroindustrial aprovechable por sus bondades constitutivas, pero resulta un problema para el ambiente tras un mal tratamiento o por su acumulación. Se ha propuesto generar carbón activado por tratamiento físico a partir de este material, analizar sus características físicas y determinar su capacidad de adsorción. La investigación consistió en un trabajo de campo, con un nivel exploratorio y un diseño experimental, aplicándose un muestreo no probabilístico intencional en la Estación Experimental Padrón ubicada en Caucagua estado Miranda - Venezuela. Se obtuvo el carbón activado con un contenido de humedad de 11,52% y densidad aparente de 0,28 mg/L, y en cenizas totales un 56,6%. El producto tiene la capacidad de remover Cu^{2+} de un medio acuoso hasta en un 68,36%, favoreciendo a menor concentración del adsorbato. Se recomienda realizar estudios para la remoción de sustancias orgánicas como fenoles y colorantes.

Palabras clave: Cascarilla de cacao; carbón activado; aprovechamiento; adsorción

ABSTRACT

Cocoa husk is an agro-industrial waste that can be used for its constitutional benefits, but it is a problem for the environment after poor treatment or accumulation. It has been proposed to generate activated carbon by physical treatment from this material, to analyze its physical characteristics and to determine its adsorption capacity. This is an exploratory field study, with an experimental design, using intentional non-probability sampling at the Padrón Experimental Station located in Caucagua, Miranda state, Venezuela. Activated carbon was obtained with a moisture content of 11.52% and bulk density of 0.28 mg / L, and in total ash 56.6%. The product has the ability to remove Cu^{2+} from an aqueous medium up to 68.36%, favoring a lower concentration of the adsorbate. It is recommended to carry out studies for the removal of organic substances such as phenols and dyes.

Keywords: *cocoa husk; activated carbon; exploitation; absorption.*

RESUMO

A casca de cacau é um resíduo agroindustrial que pode ser usado por seus benefícios constitucionais, mas é um problema para o meio ambiente após maus tratamentos ou acúmulo. Foi proposto gerar carbono ativado por tratamento físico a partir deste material, analisar suas características físicas e determinar sua capacidade de adsorção. A pesquisa consistiu em trabalho de campo, com nível exploratório e delineamento experimental, utilizando amostragem intencional e não probabilística na Estação Experimental de Padrón, localizada em Caucagua, estado de Miranda, Venezuela. O carvão ativado foi obtido com um teor de umidade de 11,52% e densidade aparente de 0,28 mg / L, e no total de cinzas 56,6%. O produto tem a capacidade de remover o Cu^{2+} de um meio aquoso de até 68,36%, favorecendo uma menor concentração do adsorbato. Recomenda-se a realização de estudos para a remoção de substâncias orgânicas, como fenóis e corantes.

Palavras-chave: *Casca de cacau; carvão ativado; aproveitamento; adsorção*

INTRODUCCIÓN

Venezuela, lo mismo que una importante mayoría de países a nivel mundial, se ha comprometido con el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) puestos en marcha en enero del 2016 y que se definen como “un llamado universal a la adopción de medidas para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad” (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016).

De este modo, resulta importante procurar acciones que reduzcan la cantidad de materiales descartables y contaminantes, presentando para ellos alternativas de utilidad social. Tal es el caso del aprovechamiento de los residuos agroindustriales.

Aun cuando se vienen empleando alternativas de aprovechamiento de la cascarilla de cacao como residuo agroindustrial, reportadas en estudios como los de Guerrero, Suarez y Orozco (2017), Sangronis, Soto, Valero y Buscema (2014), resulta necesario continuar estudios en pro de proporcionar a la comunidad en general nuevas formas de empleo de estos materiales, previendo un mejor manejo de residuos desde su generación hasta su disposición final.

Venezuela es un país con tan alta producción de cacao, por lo que emplear sus residuos en la producción de carbón activado representa una alternativa para su manejo aprovechable, lo que además puede resultar beneficioso por ejemplo, para el tratamiento de aguas residuales y para el uso en el ámbito académico, en los laboratorio de Química y Biología de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador - Instituto Pedagógico de Caracas, en procesos experimentales que requieran un material adsorbente como medio de purificación residual, razones por las cuales es menester continuar realizando estudios que, como este, permiten nuevas alternativas de aprovechamiento.

Atendiendo los alarmantes síntomas de contaminación que manifiesta el planeta Tierra, Saval (2012) reporta que desde los años 70 en el continente americano se ha intensificado la cantidad y profundidad de estudios en la línea de investigación del aprovechamiento de residuos agroindustriales. En este sentido, se pueden encontrar publicaciones que proponen algunos residuos agroindustriales como fuente promisoría en fibra dietética, caso de Abarca, Martínez, Muños, Torres y Vargas (2010) en Ecuador y García (2012) en Colombia; otros proponen la obtención de azúcares fermentables como Carranza, Alvarado, Méndez, Valenzuela y Solanilla (2015), en Venezuela y Cojo y Vasquez (2016), en Perú. Entre otras que presentan propuestas de aprovechamiento.

En la Universidad de Guayaquil-Ecuador, Burgos y Jaramillo (2015), logran obtener carbón activado utilizando la concha de coco y la cáscara de cacao como materia prima. Como resultado se obtiene que las mejores condiciones para la producción de carbón activado en ambos residuos, es de 200°C por 120 min, donde se reporta mayor calidad como adsorbente. Unos resultados relevantes para la presente investigación en cuanto a que permiten optimizar los procesos experimentales en términos de tiempo y temperatura de activación.

Ardila y Carreño (2011), realizaron una investigación en la Universidad Industrial de Santander, Colombia. En este estudio se empleó la cáscara de cacao como adsorbente para el tratamiento de agua contaminada partiendo de la modificación superficial del material carbonoso por tratamiento térmico. Como resultado se obtiene que conforme aumenta el tiempo de agitación, se obtienen mejores resultados de remoción; lo mismo ocurre conforme más pequeña sea la partícula del adsorbente. Estos elementos son de importancia para la presente investigación, pues presenta aspectos a ser considerados para evaluar la capacidad de adsorción del carbón activado obtenido.

Se sabe que en el proceso de beneficiación del cacao se descartan algunos residuos como la cascarilla de cacao, que representa un 12% en masa del peso total de la semilla (Sangronis, Soto y Bucema, 2014) y “contiene más de 40% de fibra dietética, celulosa, hemicelulosa y ácido galacturónico. A su vez contiene proteína, lignina, minerales, lípidos, hidratos de carbono tales como almidones y azúcares, teobromina, y otros compuestos tales como polifenoles, taninos y cafeína” (Guerrero, Suárez y Orozco, 2014).

La cascarilla de cacao está altamente constituida por los polímeros celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que le atribuye la acción adsorbente a diversos derivados lignocelulósicos, pues en sus polímeros conformacionales se encuentran numerosos grupos funcionales capaces de enlazar metales a la superficie de estos, entre los que se pueden destacar “los grupos amino, carboxílico, hidroxílico, fosfato y tiol que difieren

en su afinidad y especificidad respecto a la susceptibilidad para unirse a los diferentes iones metálicos” (Cardona, Cabañas y Zepeda, 2013).

En contribución con las investigaciones que estudian alternativas para el aprovechamiento de la cascarilla de cacao y proponiendo la producción de carbón activado como una, se han planteado los siguientes objetivos:

- Determinar el porcentaje de rendimiento del material carbonoso generado a partir de la cascarilla de cacao.
- Determinar la capacidad de adsorción del ion Cu(II) por parte del carbón activado generado a partir de la cascarilla de cacao y activado por tratamiento físico.
- Determinar las propiedades físicas del carbón activado generado, en términos de contenido de humedad, cenizas totales y densidad aparente.

MÉTODO

La investigación se fundamenta en un trabajo de Campo, que, de acuerdo al Manual de Trabajos de Grado, de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2016), es aquel en el que “los datos de interés son recogidos en forma directa de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios” (p. 18).

Posee un nivel exploratorio y de diseño experimental, con una controlada manipulación de variables. Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (1997), indican que “La variable independiente es la que se considera como supuesta *causa* en una relación entre variables, es la condición antecedente” (p. 100).

Población y muestra:

La muestra consiste en una cantidad de cascarilla de cacao (*Theobroma cacao*, sp), proveniente de frutos cultivados en la estación Experimental Padrón ubicada en Caucagua estado Miranda, Venezuela. Fueron obtenidas por un muestreo no probabilístico intencional que, de acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández y Baptista (1997), “suponen un proceso de selección informal y un poco arbitrario” en que el investigador decide las muestras a analizar.

El conocimiento de la composición de la cascarilla de cacao permite clasificarlo como un residuo, pues de acuerdo con Saval (2012), estos mantienen una composición química similar a su fuente de origen, no obstante, con menores porcentajes, siendo esta la razón de que se puedan reutilizar o aprovechar.

Procedimiento

Carbonización del material de la cascarilla de cacao (Theobroma cacao, L)

Siguiendo la metodología de Ardila y Carreño (2011), en una estufa de calentamiento se carbonizó la muestra a 200°C, en un periodo de tiempo de 2 horas; esto con la finalidad de deshidratar el material y retirar algunos compuestos volátiles. El material carbonoso obtenido se resguardó en un desecador para pasar a los procesos de activación.

Activación del material carbonoso por tratamiento físico

De acuerdo a la propuesta de Ardila y Carreño (2011), se tomó la muestra destinada a ser activada por este tratamiento y se introdujo en una estufa a 500°C por un periodo de tiempo de 1 hora. Acto seguido, se lavó el carbón activado con agua destilada hasta retirar los restos de lignina y finalmente se introdujo en la estufa, precalentada a 150°C, por 1 hora. El carbón obtenido se almacena en un recipiente de plástico.

Determinación de la capacidad adsorbente del carbón activado frente a la remoción de iones metálicos en medio acuoso

Para este proceso, fue necesaria la preparación de disoluciones salinas del ion Cu(II) para estudiar la capacidad de adsorción del material carbonoso. La concentración de las disoluciones fue en un rango desde 10 mg/L hasta 50 mg/L en intervalos de 10 mg/L. A estas disoluciones preparadas se les midió la absorbancia con un espectrofotómetro uv-visible. Se prepararon 5 alícuotas a las que se añadieron 5 g del carbón activado y 100 mL de la disolución en sus distintas concentraciones.

La alícuota se colocó en una plancha de agitación magnética por 1 hora. Acto seguido, se procedió a filtrar y se tomó el volumen filtrado para estudiar su absorbancia, conociéndose por diferencia la adsorción del carbón activado y a su vez el equilibrio de adsorción.

Determinación del contenido de humedad del carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao

Se empleó el método propuesto por la *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1995) N° 950.46, donde la extracción del material acuoso se realiza por calentamiento.

En crisoles de porcelana, se tomaron 2 g del carbón activado y se llevó a calentamiento en estufa a $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$ en rangos de tiempo de 20 min, se dejó reposar en un desecador y al carbón activado seco se le midió su masa hasta alcanzar una masa constante.

Determinación del contenido de ceniza del carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao

Se utilizó el método de incineración en mufla a 550°C propuesto por AOAC (1995). La ceniza consiste en el residuo de la incineración del producto hasta que queda libre

de carbón. Tras el calentamiento por 20 minutos, se introduce el crisol y la muestra en un desecador y seguidamente se mide su masa. El proceso se repitió hasta que la masa de las cenizas obtenidas fue constante.

Determinación de la densidad aparente del carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao

Se introdujo en un cilindro graduado de 100 cm³, 50 mL de agua a la que se le adiciona una cantidad conocida de carbón activado. Se reportó el desplazamiento del líquido y se determinó la densidad considerando la masa del adsorbente en base seca (es decir, restando el contenido de humedad determinado anteriormente)

RESULTADOS

La calidad del carbón activado como material adsorbente depende de tres factores:

- El porcentaje de humedad, que representa el contenido acuoso en g/100g de muestra que contiene la muestra analizada, en este caso el carbón activado.
- El porcentaje de ceniza, que describe el contenido de material inorgánico que contiene la muestra y considerada impureza, en g/100g del producto.
- La densidad aparente, que es la masa de carbón por densidad de volumen, incluyendo los poros y espacios entre partículas.

Burgos y Jaramillo (2015), indican que conforme más baja sea la humedad y el porcentaje de cenizas, mayor será su capacidad adsorbente, y por el contrario, a mayor densidad, mayor capacidad para eliminar un adsorbato por unidad de volumen del adsorbente.

Los valores obtenidos como se muestra en el cuadro 1, para humedad y densidad aparente, describen una buena capacidad de adsorción si se comparan con los

reportados para un carbón activado comercial, que son de 19,12% y 0,29 g/L, respectivamente, según los estudios publicados por Burgos y Jaramillo (2015).

Por otra parte, un incremento en la densidad aparente describe también el aumento en la capacidad de adsorción, pues implica el aumento de la porosidad de grano de carbón, y por tanto de la superficie de contacto, por lo que incrementan las interacciones con el adsorbato y con esto la retención del mismo.

Sin embargo, la presencia de cenizas significa que existen impurezas. Mientras mayor es su porcentaje, menor es la efectividad de adsorción del carbón activado (Burgos y Jaramillo, 2015).

Estos autores reportan que un carbón activado comercial tiene un porcentaje de cenizas totales de 12,3% y en comparación, el obtenido a partir de la cascarilla de cacao posee un 56,67% (cuadro 1).

De acuerdo con Martínez de Yuso (2012), el contenido de cenizas influye en la capacidad de adsorción de medios acuosos debido a que “mientras mayor es su porcentaje, menor es la cantidad de carbón realmente efectivo”. En este sentido, al medir 1 gramo de carbón activado para la remoción de una cantidad de Cu^{2+} , poco más del 50% es cenizas o impurezas, por lo que la cantidad de adsorbente es inferior a la medida predeterminada para el ensayo.

La adsorción del ion Cu^{2+} por parte del carbón activado producido en este estudio tiene un máximo de 68,3586%, valor reflejado en el gráfico 1, y que corresponde a la disolución más diluida de sulfato de cobre cuando está en contacto por dos horas con el carbón activado.

Cuadro 1. Rendimiento y propiedades físicas de la muestra carbonizada y el carbón activado, obtenido de la cascarilla de cacao, en términos de humedad, cenizas totales y densidad aparente.

| Sustancia | Humedad (%) | Cenizas totales (%) | Densidad aparente (g/mL) | Rendimiento (%) |
|--|--------------|---------------------|--------------------------|-----------------|
| Muestra carbonizada | 15,18 ± 0,03 | 56,60 ± 0,04 | 0,33 ± 0,02 | 68,98 ± 1,35 |
| Carbón activado | 11,52 ± 0,01 | 56,67 ± 0,01 | 0,28 ± 0,02 | 44,36 ± 0,5 |
| Carbón activado comercial ^(a) | 19,12% | 12,3% | 0,29 g/L | - |

Nota. Cuadro elaborado con datos obtenidos por los autores. ^(a)Tomado de Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas por Burgos y Jaramillo (2015).

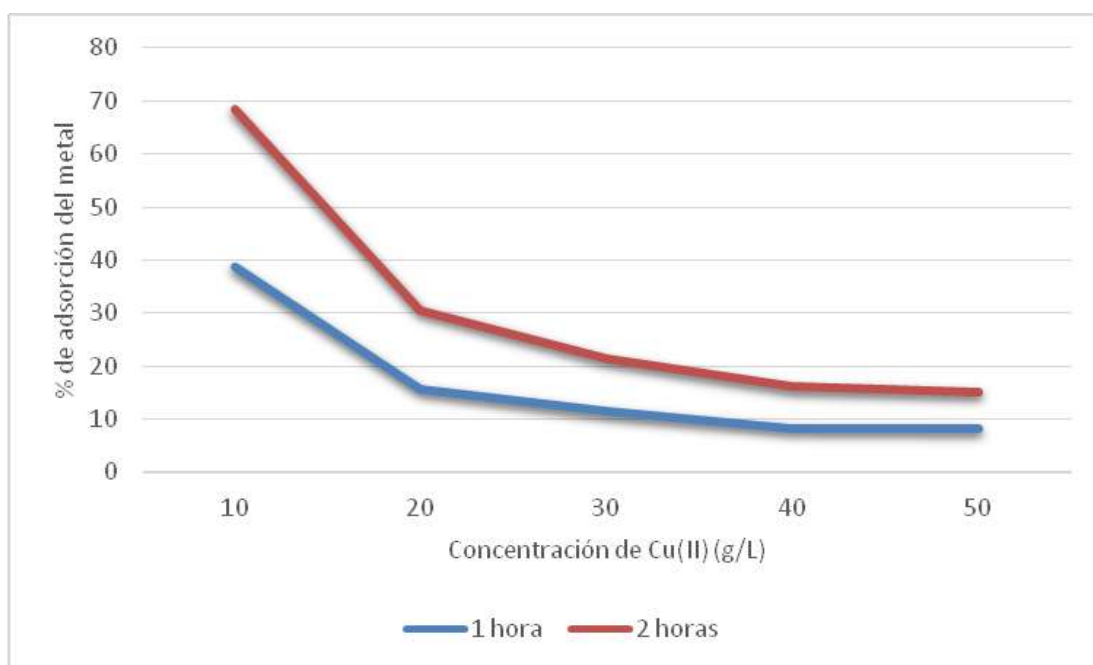


Gráfico 1. Concentración de Cu²⁺ en disolución y porcentaje de adsorción tras el contacto con 1 g carbón activado obtenido de la cascarilla de cacao por 1 y 2 horas.

Los procesos de adsorción, como expresa Atkins y De Paula (2006), son procesos físicoquímicos, por lo que contemplan -simultáneamente- procesos de adsorción física y adsorción química. La primera, es posible por fuerzas de atracción intermolecular, como fuerzas de Van der Waals y la segunda por la constitución química de la superficie del carbón, lo que hará que este tenga más afinidad por unas u otras partículas, tal como se ha expresado antes.

La acción adsorbente es entendida como la operación que permite separar mezclas, por la retención de uno o varios componentes sobre la superficie interna de un sólido poroso y ocurrirá en tres etapas ilustradas en el gráfico 2, así definidas por Sánchez (2014):

- Las moléculas del adsorbato son transferidas a través de la película que circunda al adsorbente
- El adsorbato sufre un proceso de difusión por los poros del adsorbente
- Los componentes absorbibles son capturados por diversas fuerzas de atracción, en la superficie activa del adsorbente

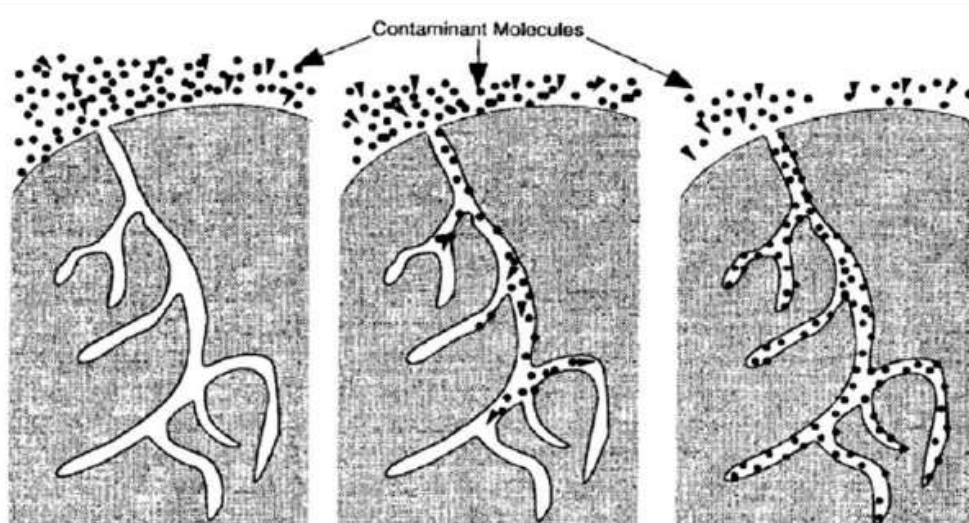


Gráfico 2. Etapas del proceso de adsorción. Tomado de: Sánchez (2014)

También es importante considerar que “por regla general, el carbón activado es mucho más efectivo en adsorber no electrolitos que electrolitos desde una solución” (Maron y Prutton, 2002. p.831).

Estos autores indican que cuando la sustancia a ser adsorbida es un electrolito, el adsorbente encuentra mayor afinidad por el agua, por lo que, en las pruebas para determinar el porcentaje de adsorción, podría aumentar la concentración del analito en estudio. Sin embargo, se ha demostrado que en algunos casos, el tener concentraciones elevadas de la sal hará que el adsorbente tenga preferencia por esta en lugar del solvente, siendo este el caso en cuestión, pues tal como reflejan los valores, la adsorción describe la retención del analito en estudio.

En la superficie del carbón activado, como en todo sólido con capacidad de adsorción, se cumple, según Maron y Prutton (2002), que las partículas que la constituyen no tienen satisfechas todas sus fuerzas de unión con otras partículas por lo que atraen hacia sí –y las retienen- a otras sustancias con las que entrar en contacto.

Se forma así un verdadero equilibrio que se da en la adsorción, por lo que al poner en contacto un adsorbente y adsorbato dado, la capacidad de adsorción bajo determinadas condiciones, es definido y reproducible.

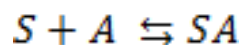
Al representar gráficamente los valores obtenidos para la concentración de Cu^{2+} remanente tras el proceso de adsorción (gráfico 1), es posible observar que conforme aumenta el tiempo de contacto, la capacidad de adsorción también lo hace.

No obstante, conforme aumenta la concentración del adsorbato, disminuye la capacidad de adsorción por parte del carbón activado. Ante esto, Sala, García y González (2010), resaltan la existencia de una cantidad definida de sitios superficiales activos con la capacidad de atraer partículas de la especie adsorbida. De esta forma, una unidad de masa específica de carbón activado tiene una capacidad máxima de adsorción, en cuanto a que posee una cantidad definida de sitios disponibles. En este

sentido, una vez alcanzada la capacidad máxima del material absorbente, aumentar la concentración del adsorbato en la disolución sólo obstaculiza los procesos de difusión disminuyendo el porcentaje de adsorción, frente a un tiempo específico de contacto.

En este orden de ideas, los autores antes mencionados señalan que los supuestos de Freundlich para un proceso de adsorción indican que este se verá afectado por la concentración del metal en solución y a su vez contempla el hecho de que el área superficial del adsorbente posee sitios de unión con afinidades variables, siendo ocupados en primera instancia, los sitios de unión más fuerte y, además, se debilita la fuerza de unión, conforme aumenta el grado de ocupación de los sitios disponibles.

Si se considera el equilibrio de adsorción presentado por Sala, García y González (2010):



Donde:

S es la superficie del sólido (adsorbente),

A es el adsorbato

SA es el complejo adsorbido.

Habría que suponer que lo mencionado anteriormente se traduce en un desplazamiento del equilibrio en donde se ve favorecida la reacción inversa, pues las fuerzas de unión para la formación del complejo se ven debilitadas por el alto grado de adsorción y la cantidad de uniones que demandan las partículas iónicas del adsorbato, a su vez, por la alta concentración del mismo.

En este sentido, se ve justificada la tendencia que muestran estos resultados donde la concentración más baja, 10 g/L, reportó un porcentaje de adsorción de 38,74 (1 hora de contacto) y 68,35 (2 horas de contacto). En acuerdo a lo antes expresado, se trata de un desplazamiento que favorece la formación del complejo SA, por lo que la

concentración de adsorbato, [A], que es la que queda en el medio acuoso tras alcanzar el equilibrio, y a la que se tiene acceso por espectrofotometría UV-Visible, es menor.

Los estudios publicados por Céspedes, Valencia y Díaz (2007), demuestran una tendencia de aumento en la capacidad de adsorción conforme incrementa el tiempo de exposición con el carbón activado; esto resulta atribuible al propio método de transporte del que se vale la adsorción física: la difusión. De esta forma, el tiempo de exposición favorece tal fenómeno, permitiendo una mayor capacidad de adsorción y, a su vez, que se alcance el equilibrio, propio de la saturación del área superficial del material adsorbente.

CONCLUSIONES

- En el proceso de carbonización se obtiene un rendimiento de 68,98% y luego, en el tratamiento de activación física, un 44,36%. Estos valores reflejan el resultado de un proceso pirolítico y el incremento de la porosidad del área superficial del carbón activado.

- El carbón activado tiene una buena calidad en términos de porcentaje de humedad y densidad aparente, donde se obtuvo un 11,52% y 0,28 g/mL, respectivamente. Estos valores se ajustan a los reportados en la literatura para el carbón activado comercial, los cuales corresponden a 19,12% como contenido de humedad y 0,29 g/L como densidad aparente.

- En los mismos parámetros de calidad, se observa que el contenido de cenizas totales es de 56,67%, por lo que posee un alto contenido de impurezas, haciendo que el contenido de carbón fijo sea bajo al medir una unidad de masa de este para determinar su adsorción.

- El carbón activado producido por tratamiento térmico a partir de cascarilla de *Theobroma cacao L*, posee la capacidad de adsorber Cu^{2+} de un medio acuoso,

favoreciendo esta adsorción cuando las concentraciones del adsorbato son bajas, sin embargo, requiere mayor tiempo de exposición para alcanzar el equilibrio de adsorción.

- Es recomendable aprovechar el contenido lignocelulósico de la cascarilla de cacao para la producción de carbón activado, y el posterior uso de este en diversos fines de adsorción en medios acuosos.

REFERENCIAS

- Abarca, D., Martíne, R., Muñoz, J., Torres, M. y Vargas, G. (2010) Residuos de Café, Cacao y Cladodio de Tuna: Fuentes Promisorias de Fibra Dietaria. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*. 23(2), 63-69. <https://core.ac.uk/download/pdf/71397043.pdf>
- Atkins, P. y De Paula, J. (2006). *Physical Chemistry*. (8va. Ed.). W.H. Freeman and Company
- A.O.A.C. (1995) Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis (16ta Ed.). Virginia: AOAC International
- Ardila, C. y Carreño, S. (2011). Aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente. [Documento en línea]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137849.pdf>
- Baena, L. y García, N. (2012) Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *theobroma cacao* L. de una industria chocolatera colombiana. [Documento en línea] <https://core.ac.uk/download/pdf/71397043.pdf>
- Burgos, G. y Jaramillo, J. (2015). Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el Cantón Milagro, Provincia del Guayas. [Documento en línea]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8941/1/BCIEQ-T-0114%20Burgos%20Campuzano%20Gabriela%20Elizabeth%3B%20%20Jaramillo%20Quiroz%20Jomayra%20Lorena.pdf>
- Cardona, A., Cabañas, D. y Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*. 17(1), 1-9. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46729718001.pdf>
- Carranza, D., Alvarado, J., Méndez, D., Valenzuela, C y Solanilla, J. (2015) Pretratamiento de residuos de plátano (*Musa paradisiaca* (L.) AAB) y arracacha (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) para la obtención de azúcares fermentables. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. [Revista en línea] 6 (1): 019-035. Disponible: <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/rvcta/v6n1/art02.pdf> [Consulta: 2017, diciembre 12]

- Céspedes, N., Valencia, J. y Díaz, J. (2007) Remoción de Cromo VI de soluciones acuosas por adsorción sobre carbones activados modificados. *Revista colombiana de química*. 36(3), 305-322. <https://www.redalyc.org/html/3090/309026673001/>
- Cojo, S. y Vásquez, D. (2016) Obtención de azúcares fermentables por hidrólisis enzimática a partir de los residuos de mango (*mangífera indica l.*) [Documento en línea] Disponible: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/50149936/ARTICULO_CIENTIFICO.pdf?1478469269=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAzuceres_fermentables_cascar_de_mango.pdf&Expires=1594606736&Signature=KyPPTuYqJigqAWIsf4CnTedhtdnSPJymc33jBRRUy-nYgZzSEhtKVMsH4eVsUrZR-w16qhuT3YMRVCgr6P3fR~bqYbA7JNPNrPwOv05CSGUgN9HtDT0gVGdnDSokW7WnoI6fR3KtnqLGtYAmSHN6MfjHg9WqXVo91ZClYeEZ1U4G6pYHE8TlhBmkpfl6AsXA~PJw3Aplw~TtFO8SuvDJb8sqk~ivU8CVIxmC5YVwH3WnB~w6avlkv7yPofup-NsHgqxBaykyKCrNck1vco70831cnZ~Z0e3fhVBBmySi9dyxULnE9geh0Z47Xr9AUZLzqJ9-3y5qjpbG74toCIA__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- Guerrero, G., Suárez, D., y Orozco, D. (2017). Implementación de un método de extracción de pectina obtenida del subproducto agroindustrial cascarilla de cacao. *Temas Agrarios*, 22(1), 87-92. Disponible: <https://doi.org/10.21897/rta.v22i1.919>
- Hernández Sampieri, R., Fernández C. y Baptista, P (1997). Metodología de la investigación. Bogotá: McGraw-Hill
- Maron, S. y Prutton, C. (2002) Fundamentos de fisicoquímica. México D.F.: Editorial Limusa
- Martínez de Yuso, A. (2012). Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano [Documento en línea] http://digital.csic.es/bitstream/10261/74991/1/Tesis%20Martinez%20de%20Yuso_A_repositorio%20CSIC.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2016). Objetivos de desarrollo sostenible. [Transcripción en línea] Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals-old.html>
- Sala, L. y García, S. y González, J. (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Química y Medio Ambiente*, 49(17), 114. Disponible: <file:///C:/Users/Eduad%20Maita/Downloads/Dialnet-BiosorcionParaLaEliminacionDeMetalesPesadosEnAguas-3235861.pdf>
- Sánchez Castro, E. J. (2014). Propuesta de elaboración y comercialización de filtros adsorbentes para agua contaminadas a partir de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente en la ciudad de Guayaquil [Documento en línea] <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8057>
- Sangronis, E., Soto, M., Valero, Y. y Bucema, I. (2014). Cascarilla de cacao venezolano como materia prima de infusiones. *Archivos latinoamericanos de nutrición*. [Revista en línea] 64 (2). Disponible:

http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222014000200007 [Consulta: 2017, diciembre 12]

Saval, S. (2012). Aprovechamiento de Residuos Agroindustriales: Pasado, Presente y Futuro. [Documento en línea]. http://www.academia.edu/23775116/Aprovechamiento_de_Residuos_Agroindustriales_Pasado_Presente_y_Futuro

Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2016) Manual de Trabajos de Grado, de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (5ta. ed.). Caracas: FEDUPEL