

Residuos lignocelulósicos y método de producción del carbón activado

Vera Raza Betty Betsayda
<https://orcid.org/0000-0002-4006-2041>
bvera2793@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Mero Intriago Roddy Argenio
<https://orcid.org/0000-0002-5385-7396>
rmero3557@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Gabriel Alfonso Burgos Briones
<https://orcid.org/0000-0002-1291-4083>
gabriel.burgos@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí Portoviejo,
Ecuador

Ramón Eudoro Cevallos Cedeño
<https://orcid.org/0000-0002-8583-4674>
ramon.cevallos@utm.edu.ec
Universidad Técnica de Manabí
Portoviejo, Ecuador

Recibido (23/08/2022), Aceptado (27/10/2022)

Resumen. - Los residuos lignocelulósicos corresponden a un gran porcentaje de desechos en el mundo. A lo largo del tiempo se han desarrollado investigaciones para el aprovechamiento de estos. Dichos residuos pueden convertirse en carbón activado. El objetivo del presente artículo científico es efectuar una revisión bibliográfica de investigaciones llevadas a cabo sobre residuos lignocelulósicos y método de producción del carbón activado. La metodología aplicada se basa en el enfoque cualitativo, que busca realizar una comparativa con respecto a los métodos de obtención, sus precursores y cuáles fueron las variables a considerar para la evaluación de calidad. El método de activación química resultó ser el más eficaz, ya que aporta mayor capacidad de adsorción; en cuanto a los residuos lignocelulósicos más factibles a utilizar se encuentran el bagazo de caña de azúcar, la cascarilla de café, el yuyo de papa y el bambú.

Palabras clave: Desechos de agricultura, lignocelulosa, activación.

Lignocellulosic waste and activated carbon production method

Abstract. - Lignocellulosic waste corresponds to a large percentage of waste in the world. Over time research has been developed for the use of these. This waste can be converted into activated carbon. The objective of this scientific article is to carry out a bibliographic review of research carried out on lignocellulosic waste and activated carbon production methods. The applied methodology is based on the qualitative approach, in which a comparison is sought to the obtaining methods, their precursors, and the variables to be considered for quality evaluation. The chemical activation method turned out to be the most effective since it provides greater adsorption capacity; the most feasible lignocellulosic residues used are sugar cane bagasse, coffee husk, potato weed, and bamboo.

Keywords: Agricultural residues, lignocellulosic, activation.

I. INTRODUCCIÓN

El uso de desechos de agricultura como materia prima para la producción de carbón activado es un tema importante alrededor del mundo. Por ello, los residuos lignocelulósicos forman parte de la biomasa, procedentes de la agricultura, y están compuesto por tres polímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina) siendo utilizados de manera amplia en la preparación de carbones activados para el control de emisiones, como por ejemplo el uso de la cáscara de almendra. Según estudio realizado en Colombia se logró determinar que el zuro de maíz es un recurso agroindustrial potencial para la obtención de carbones activado. Se encontró que el proceso de activación aumentó significativamente el contenido de carbono del zuro de maíz, presentando un incremento de 47% a 74% después de la activación [1]. Además, en estudio efectuado en Cuba deja en evidencia que “el carbón activado es un material renovable que puede obtenerse de diversos materiales como residuos agrícolas y forestales, hulla, lignitos, turba y residuos poliméricos. En el Ecuador se dispone de amplios recursos de biomasa vegetal; por ello en determinadas regiones se efectúa la producción de carbón vegetal de alta calidad. Por ejemplo, el carbón activado obtenido de cascarón de cosos y de residuos forestales, que es procedente de la planta de Baracoa ubicada en la provincia de Guantánamo [1] [2]. Otros estudios lograron la obtención de carbón activado a partir de la cáscara del fruto de la calabaza blanca utilizando tres agentes activantes, ácido fosfórico al 30% y 60%, y cloruro de zinc al 1%; en este país este producto es importado, siendo considerado como una forma de carbono altamente poroso con una capacidad de adsorción muy alta, es utilizado habitualmente en procesos de descontaminación de aguas, recuperación de solventes, control de emisiones, decoloración de líquidos, eliminación de olores, soportes catalíticos y otros [5]. Por su parte, en Ecuador se efectuó un estudio experimental donde se obtuvo carbón activado a partir de tres tipos de aserrín de madera como el canelo, laurel y eucalipto, mediante el método de activación química, obteniendo del laurel el rendimiento más alto del 29% [6]. Consecuentemente, se expone que los métodos de preparación influyen en las características de textura de los carbones activados. Fundamentalmente existen dos métodos para llevar a cabo la síntesis de carbón activado a partir de materiales lignocelulósicos: activación física y activación química [4]. El problema que motivó a estructurar el tema de investigación ha sido el limitado conocimiento sobre métodos de producción del carbón activado a partir de residuos lignocelulósicos. La revisión documental pretende aportar de forma significativa al vacío conocimiento existente sobre el aprovechamiento de los residuos del carbón activado. La hipótesis planteada es la activación química, que es el método más utilizado para la producción de carbón activado con el uso de residuos lignocelulósicos utilizados. Finalmente, como objetivo principal de la investigación se pretende dar a conocer los métodos de producción del carbón activado y cuáles son los residuos más utilizados para su obtención.

El presente trabajo se enfocó en una investigación cualitativa. Se analizó de manera teórica la información relevante sobre residuos lignocelulósicos y los métodos de producción del carbón activado. Los métodos teóricos que guiaron el estudio fueron el inductivo-deductivo y el análisis-síntesis, que pretenden ser utilizados para profundizar en las categorías de la investigación y estudiar los contenidos que requieren de la guía de estos referentes. En este sentido, se efectuó un análisis de los métodos de producción del carbón activado, así como también efectuar la identificación de los tipos de residuos lignocelulósicos utilizados para la obtención de este producto.

III. RESULTADOS

A. Residuos lignocelulósicos

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, esta biomasa producida por la fotosíntesis es la fuente de carbono renovable más prometedora para solucionar los problemas actuales de energía y materias primas [5] los residuos lignocelulósicos agroindustriales, son definidos como aquellos residuos o subproductos de cultivos cosechados y que posteriormente han pasado por un proceso de modificación o procesamiento en industrias conserveras, algunos de los residuos lignocelulósicos que podemos mencionar son: madera, bagazo de caña, henequén, sisal, bambú, algodón, plátano, cascarilla de arroz, entre otros. Los materiales lignocelulósicos se componen de lignina, hemicelulosa, y celulosa. La lignina puede considerarse una red polimérica tridimensional al azar formada por unidades de fenilpropano unidas entre sí en diferentes posiciones [6]. La hemicelulosa se compone también de largas cadenas, pero a

diferencia de la lignina contiene pentosas, la composición exacta de la hemicelulosa depende de la fuente del material celulósico. La celulosa está compuesta de largas cadenas de moléculas de glucosa, unidas por enlaces β 1-4 glucosídicos, los cuales hacen que la cadena sea recta y de un número de polimerización mayor de 1000 y dependiendo del origen hasta 10,000 a 20,000 [9]. Dentro de los organismos capaces de aprovechar estos materiales encontramos a los hongos que degradan la celulosa y lignina de troncos a través de enzimas que secretan al medio en el que crecen obteniendo así sus nutrientes. La lignina es, después de la celulosa y la hemicelulosa, uno de los polímeros más abundantes en la naturaleza y está presente en la pared celular de los seres vivos del reino vegetal. El objetivo principal de la lignina es dar a la planta el soporte estructural, impermeabilidad, y la resistencia contra el ataque microbiano y el estrés oxidativo. Es insoluble en agua y se considera ópticamente inactiva, todo esto hace que la degradación de la lignina sea muy difícil [10] también menciona que: "La hemicelulosa es una estructura compleja de carbohidratos que consiste en polímeros de diferentes azúcares como xilosa y arabinosa (pentosas), manosa, glucosa y galactosa (hexosas) y ácidos de azúcar el componente dominante de la hemicelulosa de la madera y plantas agrícolas es el xilano, tiene un peso molecular más bajo que la celulosa, y con cadenas laterales cortas que constan de diferentes polímeros de azúcares, fáciles de hidrolizar y sirve como una conexión entre la lignina y las fibras de celulosa y le da al conjunto de celulosa-hemicelulosa lignina rigidez." Los usos y aplicaciones de los residuos lignocelulósicos son extensos y es considerado uno de los materiales más abundantes si a residuos agrícolas se refiere; entre estos usos se menciona algunos de los siguientes: como soporte y sustrato de microorganismos, remoción de metales pesados, preparación de resinas para intercambio iónico, en la industria de papel los residuos lignocelulósicos son utilizados como combustibles, producción de adhesivos, agentes de curtido, reforzadores de polímeros y como precursor para la producción de carbón activado [11], el cual se centrará este artículo.

B. Carbón activado

El carbón activado es una forma sólida del carbono que posee una microestructura no gráfica desorganizada que le proporciona una estructura abierta superficial, la cual es responsable de su elevada capacidad de adsorción [12], tiene la capacidad de adsorber compuestos presentes ya sea en un gas o un líquido, debido a su porosidad, esto lo hace el purificante más utilizado en todo el mundo. Los compuestos orgánicos (cómo lo es el carbón activado) se derivan del metabolismo de los seres vivos, y su estructura básica consiste en cadenas de átomos de carbono e hidrógeno. Entre ellos se encuentran todos los derivados del mundo vegetal y animal, incluyendo el petróleo y los compuestos que se obtienen de él. El carbón activado es utilizado en el tratamiento de aguas con el propósito de adsorber, entre otros contaminantes, los metales pesados [13]. Actualmente existe una serie de filtros utilizados para asegurar la calidad del agua potable en el hogar, la mayoría funcionan en base de carbón activado en diferentes presentaciones (granular, entrelazado con fibras de celulosa y en forma de monolitos) los cuales a su vez están impregnados con nanopartículas de diferentes componentes, entre los que destaca la plata (Ag) pero estos suelen ser tener un costo elevado al ser productos importados, por lo cual son difíciles de ser adquiridos masivamente [14]. El carbón activado consta de su estructura microporosa gracias a la superficie específica, la cual es una característica que se aplica en sólidos con granos o partículas, tales como el carbón activado, esta medida es relevante ya que en ella se desarrollan muchos procesos físicos y químicos de este tipo de materiales. Esta superficie facilita la formación de partículas gracias a la presencia de grupos carboxílicos, fenólicos, cetonas, quinonas, hidroquinonas y aldehídos que le dan al carbón activado la particularidad de material adsorbente; la presencia de estos grupos ácidos en la superficie específica del carbón activado, pueden elevarse con la adición de soluciones de ácido nítrico o fosfórico [15]. La química superficial del carbón

activado tiene una naturaleza anfótera debido a la coexistencia de grupos superficiales ácidos y básicos; la concentración y la fuerza de estos grupos va a determinar si un carbón es ácido o básico, el contenido de heteroátomos también puede modificar las propiedades ácido-base de las disoluciones que se ponen en contacto con el carbón, o puede aumentar la acidez superficial, posibilitando su actuación como catalizador, se puede deducir que un carbón de tipo básico será preferible para la adsorción de compuestos ácidos que un carbón de tipo ácido y viceversa. Asimbaya [2] menciona que: Las propiedades del carbón activado dependen del material a partir de cual se obtuvo y su estructura será distinta en función de la materia prima que lo generó. Eso indicaría que a partir de diferentes residuos lignocelulósicos se pueden obtener carbones activos con diversas cualidades. Por otra parte, Filipin [10] argumenta que: La adición de productos químicos como el ácido fosfórico, cloruro de zinc, o hidróxido potásico pueden aumentar la porosidad del material carbonoso, debido a que este contiene gases oxidantes. La capacidad de remoción del carbón activado está influenciada por la superficie activa, debido a su elevado y variado grado de porosidad; sin embargo, un aspecto influyente en el proceso de adsorción lo constituye la química superficial del material adsorbente [17].

C. Características fisicoquímicas del carbón activado

El carbón activado es un adsorbente muy versátil, gracias al tamaño y distribución de sus poros en la estructura carbonosa le confieren posibilidades de utilización en la purificación en fase gaseosa y líquida [18]. Considerar la superficie del carbón activado es fundamental para analizar sus características fisicoquímicas; se denomina a esta como el área de la superficie por unidad de masa (m^2/g). Constituye la suma del área de la superficie de todas las partículas que forman un gramo de material [19]. En el caso de los carbones activados, la superficie de las partículas presenta una alta reactividad físico-química con el medio, lo que implica la existencia de fenómenos como la adsorción de cationes y moléculas de agua o variación de la carga eléctrica y de las fuerzas de atracción-repulsión entre partículas en función del pH, salinidad y temperatura del medio [18], menciona que: "La superficie de los carbones puede encontrarse combinada, en mayor o menor proporción, con otros átomos o grupos de átomos distintos al carbono (heteroátomos), entre los que figuran los grupos carboxílicos, lactonas, fenólicos y carbonilos como principales grupos de carácter ácido y los grupos básicos algunos autores lo atribuyen a los grupos pirona, cromeno y electrones π deslocalizados en las capas del grafeno". Esto nos indica que estos átomos antes mencionados de carácter básico y ácido están relacionados directamente con el producto de obtención final y que esto afectará en el análisis proximal del carbón activado. Hernández establece que: La capacidad de remoción de los adsorbentes no está determinada solamente por sus características texturales, sino a que los grupos químicos existentes en la superficie ejercen un papel distintivo, producto a las interacciones específicas con el adsorbato. El análisis proximal es la vía la cual se determinan los porcentajes de humedad, compuestos volátiles, cenizas y carbono fijo del carbón activado. La materia prima utilizada en el proceso de obtención del carbón activado, son, generalmente cortezas de frutos secos, cáscaras de frutas como el coco, naranja, turba, pulpa de café, palmeras, aserrines, maderas, y residuos que contengan mayormente cantidades significativas de lignina, celulosa y hemicelulosa.

Tabla 1. Datos de caracterización fisicoquímica del carbón activado obtenido de varias materias primas.

Autores	Humedad (%)	Compuestos volátiles (%)	Cenizas (%)	Carbono fijo (%)	Precursor
(Asimbaya, 2015)	9,69	78,55	1,38	10,38	Laurel
	8,21	85,74	0,16	8,21	Canelo
	5,69	86,11	0,25	5,69	Eucalipto
(Velázquez, 2010)	Base seca	73,88	1,46	24,65	Bambú (<i>Bambusa vulgaris</i>)
(Sánchez, 2018)	26,70	18,13	31,99	62,92	Bambú (<i>guadua angustifolia kunth</i>)
(Díaz, 2002)	7,42	67,42	2,61	29,97	Cuesco de palma africana
(Rodríguez, 2020)	15,08	75,60	4,94	21,06	Yuyo de papa
(Solís, 2012)	9,33		0,9		Cascarilla de café
	7,15		4,5		Cáscara de naranja
	6,9		13		Bagazo de caña de azúcar

Elaboración propia.

En la Tabla 1 se muestran las variables evaluadas para el análisis proximal utilizado para la caracterización de carbones activados obtenidos de diferentes precursores. Asimbaya, quién evaluó tres aserrines: laurel canelo y eucalipto; menciona que el laurel obtuvo el rendimiento más alto, con una partícula comprendida entre 74 y 150µm, este rendimiento se refiere a que la cantidad de carbón activado resultante está en función de la cantidad de carbono fijo, es decir, a mayor porcentaje de carbono fijo en la muestra, mayor será el rendimiento del carbón activado obtenido; en caso del mejor absorbente fue producido a partir del aserrín de canelo con un tamaño de partícula de 74-150µm al igual que el laurel, se menciona también que el aserrín de canelo presentó un índice de yodo de 740 mg I₂/g de carbón. Velásquez argumenta que el porcentaje de materia volátil influye en la porosidad mediante una activación adecuada ya que, el carbón al activarse va dejando espacios de volumen vacíos para adsorber moléculas de tamaño menor a esos poros, el resultado del rendimiento del bambú fue del 80% el cuál reveló que la utilización del bambú como precursor de carbón activado es viable bajo condiciones óptimas, de las cuales se hablará más adelante.

En la investigación de Sánchez se puede observar gran disparidad en sus resultados con respecto a los autores anteriores, sin embargo, el bambú de la variedad *guadua angustifolia kunth* muestra gran porcentaje de carbono fijo, lo que lo vuelve un excelente precursor de carbón activado. Por otra parte, en el caso de la utilización de cuesco de palma africana como precursor, Díaz obtuvo resultados de carbono fijo y material volátil altos, mientras que los porcentajes de humedad y cenizas fueron bajos, esto es indicativo de que estos valores son adecuados para preparación de carbones activos; también menciona que estos resultados son comparables con otros precursores como madera, cáscara de nuez y cáscara de coco. En el caso del yuyo de papa como precursor, Solís concluye que se obtuvieron valores de análisis proximal similares a los establecidos por el bagazo de caña, que es una de las materias primas de las cuales se elabora carbón activo principalmente, se obtuvo un porcentaje de humedad por

debajo del 50% lo que es óptimo para que el proceso de incineración o conversión térmica sean aceptables, así mismo los valores de cenizas fueron favorables dado que la un porcentaje alto de estas puede afectar principalmente el adsorción de moléculas orgánicas y la quimisorción de oxígeno; en cuanto a parámetros de carbono fijo y materia volátil fueron superiores al de los materiales precursores agroindustriales utilizados comúnmente, estos son indicadores de la facilidad con la cual se produce la ignición, en cuanto mayor sea, menor será el tiempo de residencia hasta llegar a la combustión completa. Por último en la caracterización del carbón activo obtenido de los precursores: cascarilla de café, cáscara de naranja y bagazo de caña de azúcar, en los cuales se evaluó la humedad y el contenido de cenizas; el bagazo de caña se alcanzó un porcentaje del 98% de remoción de color e indicando que las mayores capacidades de adsorción se obtuvieron con este adsorbente, la cascarilla de café fue el segundo adsorbente más efectivo mientras que la cáscara de naranja obtuvo resultados de relevancia menor bajo las condiciones planteadas.

Dentro de los procesos de obtención del carbón activo existen técnicas y métodos de los cuales se puede optimizar dicho proceso, los cuales se detallarán a continuación:

D. Activación física (térmica)

Esta es la más utilizada, como materia prima emplea el carbón vegetal granulado, obtenido previamente en métodos de carbonización a temperaturas entre 400 a 600 °C; este es sometido a una molienda, enseguida clasificado, empleando tamices de diferentes tipos de abertura, con el propósito de uniformizar el tamaño de partículas antes de la activación, una vez clasificado, se coloca dentro de un lecho de activación (construido en material resistente a altas temperaturas) por donde se hace pasar corrientes de gas a temperaturas entre 800 a 1000 °C; como gases para la activación se emplea el vapor de agua, dióxido de carbono, cloro, gases provenientes de una combustión u otros gases que actúan sobre los materiales volátiles, provocando su arrastre y separación de la estructura del carbón [21].

E. Activación química

Este método consiste en utilizar ya sea cloruro de zinc, ácido fosfórico, ácido nítrico y otros reactivos para así lograr una transformación en carbón que adquiere propiedades con gran actividad y poder adsorción; este proceso es aplicado directamente a la materia prima, a diferencia del método físico donde debe existir una carbonización previa; esta activación se realiza en una retorta con temperatura entre 500 a 900°C, una vez terminado el proceso se deja enfriar y se lava el carbón para recuperar el agente activador, luego el carbón activado se filtra y se seca [20]. La activación química con $ZnCl_2$ fue el método más usado hasta 1970, especialmente para la activación de residuos de madera; sin embargo, se ha restringido debido a los problemas medioambientales que conlleva el uso del $ZnCl_2$ no obstante, algunos países como China aún siguen usando este método para producir carbón activado [25]. Los métodos de obtención del carbón activado han sido evaluados a lo largo de la historia de la ciencia con el fin de optimizar el proceso y desarrollar nuevas opciones para el aprovechamiento ya sea de la materia prima y/o de los ácidos que se utilizan para la activación [26].

Tabla 1. Datos de caracterización fisicoquímica del carbón activado obtenido de varias materias primas.

Autores	Activación química	Activación física (térmica)
(Solís., 2012)	Ácido fosfórico H ₃ PO ₄ (20%) T=500°C t=16h	600°C 1min/g de muestra
(Rodríguez, 2020)	Ácido fosfórico (20%) Hidróxido de zinc (10%) Cloruro de zinc (40%) T= 110°C t=8h	Con flujo de N ₂ , para crear una atmosfera inerte, T= 400°C, t=30 minuto
(Correa & Chávez, 2010)	Ácido nítrico HNO ₃ (21%) T=90°C t=30min	
(Díaz., 2002)	Carbonato de potasio (25%) T=900°C t=1h	Velocidad de calentamiento 10°C/min con flujo de CO ₂ T _f = 600,750 y 900°C
(Velázquez., 2010)		Se evaluaron T=(450; 550 y 650) °C con tiempos de activación de 60, 130 y 180 min

Elaboración propia.

Chávez evaluaron la adsorción del carbón activado con ácido nítrico (el cual pasó por un proceso de pirólisis posteriormente) utilizando una solución acuosa de Cd²⁺ como medio para probar su eficiencia; sus resultados demostraron que los materiales sintetizados exhiben una mayor adsorción de Cd²⁺, comparados con aquellos carbones comerciales y que mayor capacidad de adsorción de Cd²⁺ fue 11, 60 y 180 mg/g para el carbón comercial, original y activado, respectivamente. Por otra parte, Díaz menciona que la utilización de ambos métodos, presentaron diferencias de valores en el área superficial y volumen de microporo del carbón activado obtenido, los cuales se determinaron mediante isothermas de nitrógeno; el más bajo desarrollo de porosidad lo presentaron los carbonizados a 900°C y los de activación química a 800°C. Por último, Velázquez realizó un análisis estadístico para con el objetivo de encontrar las mejores condiciones de activación física, utilizando un modelo de primer orden; las cuales fueron, una temperatura de activación de 550°C y un tiempo de activación de 122,76 min, esto luego de la caracterización física del carbón activado el cual obtuvo una porosidad del 85,35% y una humedad del 4,63%.

En la tabla 2 se observan las diferentes condiciones en las que fueron evaluados los métodos de obtención para carbones activados. Para Solís quienes realizaron una comparación entre los dos métodos mencionan que: En particular, el proceso de activación química de los precursores utilizados con empleo de ácido fosfórico como agente activante tuvo varias ventajas con respecto al proceso de activación física, ya que se alcanzaron mayores rendimientos y capacidades de adsorción; además la utilización de este activante bajo diferentes cantidades y tiempos de impregnación no mostró diferencias en la capacidad para la remoción de color. En el caso de Rodríguez la activación física no fue favorable dado que se obtuvo el 24.25% de la masa

utilizada en el proceso de carbonización; sin embargo, la activación química con hidróxido de potasio presentó mayor rendimiento debido a que existió menor pérdida durante el proceso de lavado, en comparación del ácido fosfórico y el cloruro de zinc, ya que para lograr el pH neutro requirieron de una mayor cantidad de lavados lo que ocasionó una pérdida de material. Correa y Chávez evaluaron la adsorción del carbón activado con ácido nítrico (el cual pasó por un proceso de pirolisis posteriormente) utilizando una solución acuosa de Cd(2+) como medio para probar su eficiencia; sus resultados demostraron que los materiales sintetizados exhiben una mayor adsorción de Cd(2+), comparados con aquellos carbones comerciales y que mayor capacidad de adsorción de Cd(2+) fue 11, 60 y 180 mg/g para el carbón comercial, original y activado, respectivamente. Por otra parte, Díaz menciona que la utilización de ambos métodos, presentaron diferencias de valores en el área superficial y volumen de microporo del carbón activado obtenido, los cuales se determinaron mediante isotermas de nitrógeno; el más bajo desarrollo de porosidad lo presentaron los carbonizados a 900°C y los de activación química a 800°C. Por último, Velázquez realizó un análisis estadístico para con el objetivo de encontrar las mejores condiciones de activación física, utilizando un modelo de primer orden; las cuales fueron, una temperatura de activación de 550°C y un tiempo de activación de 122,76 min, esto luego de la caracterización física del carbón activado el cual obtuvo una porosidad del 85,35% y una humedad del 4,63%.

CONCLUSIONES

Los residuos lignocelulósicos al ser el material más abundante dentro de los que se considera desperdicio en el área agraria y agroindustrial es uno de los precursores más utilizados por la industria para elaborar carbón activado, es relevante señalar que debe existir mayor control en el aprovechamiento de estos residuos dada la crisis ambiental en la actualidad; dado que el carbón activo cumple un papel muy importante en la industria de aguas y alimentos por su capacidad de adsorción de materia no deseada en estos; por otro lado, como se ha podido analizar los métodos de producción del carbón activado, se concluye que el método por activación química es el más eficaz en cuanto a características fisicoquímicas presentó el material final, sin dejar de lado que estas características se ven influenciadas por el material lignocelulósico que se utilice y el cual está influenciado por el contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa que estos presenten.

El estudio de aprovechamiento de residuos agrícolas y/o alimentarios planteados como materia prima para la obtención de materiales descontaminantes como lo es el carbón activado, forma parte de la solución para retardar el cambio climático, siendo este de vital importancia, no solamente a nivel regional, si no mundial; y que debe ser considerado prioritario en todas las entidades científicas.

REFERENCIAS

- [1] A. Amaringo y A. Hormaza, «Determinación del punto de carga cero y punto isoeléctrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes,» Revista de investigación agraria y ambiental, vol. 4, n° 2, 2013.
- [2] C. Asimbaya, D. Endara, V. Guerrero y N. Rosas, «Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto,» Revista Politécnica, vol. 6, n° 3, pp. 1-6, 2015.
- [3] K. Reátegui, «Obtención de carbón activado a partir de cáscara del fruto de la calabaza (*Curcubita ficifolia* Bouché),» Universidad Nacional Agraria de la Molina, 2017.
- [4] V. Bello, P. Fernández, J. Ramos y R. Reyes, «Fabricación de carbón activado granular a partir de dos residuos agrícolas,» Revista Bol. Grupo Español Carbón, n° 36, pp. 22-26, 2015.
- [5] C. Bardales, J. Cabos, C. León y E. Jara, «Enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium cellulolyticum* y *Candida utilis* para alimentación animal,» Revista Arnelo, vol. 27, n° 1, pp. 99-114, 2020.

- [6] W. G. Cortés, «Materiales lignocelulósicos como fuente de biocombustibles y productos químicos,» Tecno Esufa, p. 3, 2011.
- [7] A. Oviedo y J. Vinuesa, «Residuos lignocelulósicos y sus usos: una revisión,» InfoANALÍTICA, vol. 8, n° 2, 2020.
- [8] A. Filippín, N. Luna, M. Pérez y M. Pozzi, «Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activación física,» Revista Avances en Ciencias e Ingeniería, vol. 8, n° 3, pp. 59-71, 2017.
- [9] E. Aylas, G. Picasso y M. Sun, «Modificación ácida del carbón activado y la influencia del grupo sustituyente en la absorción de compuestos fenólicos,» Revista de la Sociedad Química del Perú, vol. 82, n° 3, pp. 339-351, 2016.
- [10] G. Cruz, M. Gómez, R. Keiski, J. Santiago, J. Solís y M. Velásquez, «Estudio de carbones activado impregnados con quitosano y su comparación con carbones comerciales,» Revista Soc Quim Perú, vol. 82, n° 3, pp. 373-384, 2016.
- [11] M. Hernández, A. Otero, J. F. Hernández y Y. Yperman, «Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO₃,» Revista Cubana de Química, vol. 29, n° 1, pp. 26-38, 2017.
- [12] M. Hernández, A. Otero, J. Falcon y Y. Yan, «Características fisicoquímicas del carbón activado de conchas de coco modificado con HNO₃,» Cub Quim, vol. 29, n° 1, pp. 26-38, 2017.
- [13] P. Rodríguez, L. Giraldo y J. C. Moreno, «Oxidación de la superficie del carbón activado mediante HNO₃ Y H₂O: Efecto sobre la remoción de níquel (II) en solución acuosa,» Revista Colombiana de Química, vol. 40, n° 3, pp. 339-364, 2011.
- [14] A. Velásquez, E. Bolaños y Y. Pliego, «Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú,» Revista Mexicana de Ingeniería Química, vol. 9, n° 3, pp. 359-366, 2010.
- [15] C. Sánchez, «Caracterización de carbón activado a partir de bambú "Guagua angustifolia kunth" utilizando el método químico,» Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018.
- [16] C. Díaz, N. Briceño, M. Baquero, L. Giraldo y J. Moreno, «Caracterización textural y química de carbón activado obtenido a partir de hueso de palma africana a diferentes condiciones de temperatura y tiempos de carbonización,» Revista Colombiana de química, vol. 31, n° 1, pp. 119-129, 2002.
- [17] I. Rodríguez, «Elaboración y caracterización de carbón activado a partir de residuos agroindustriales para reducir fluoruros en aguas de consumo,» Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2020.
- [18] J. Solís, M. Morales, R. Ayala y M. Durán, «Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción del color del jugo de caña,» Tecnología, ciencia y educación, vol. 27, n° 1, pp. 36-49, 2012.
- [19] Á. Sevillano y P. Torres, «Obtención de carbón activado a partir de madera,» Universidad Nacional de Cuyo, pp. 66-72, 2013.
- [20] A. Correa y L. Chávez, «Producción y caracterización de carbón activado usando vaina de frijol: extracción de Cd²⁺ en solución acuosa,» Ingenierías, vol. 8, n° 48, 2010.



Betty Betsayda Vera Raza es egresada de la carrera de Ingeniería Química, 23 años, nacida en la Ciudad de Guayaquil.



Roddy Argenio Mero Intriago es egresado de la carrera de Ingeniería Química, 29 años, nacido en la Ciudad de Santa Ana, parroquia Honorato Vázquez Ayacucho.