

OBTENCIÓN DE CARBONES ACTIVADOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES Y SU EVALUACIÓN EN LA REMOCIÓN DE COLOR Y CARGA ORGÁNICA EN LACTOSUERO ÁCIDO

Canales Flores R. A.^a, Prieto García F.^a, Otazo Sánchez E. M.^a, Bolarín Miró A. M.^b

^aÁrea Académica de Química, ^bÁrea Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184. Tel. (01) 771 717200 ext. 2287. Correo electrónico: prietog@uaeh.edu.mx

RESUMEN

Carbones activados son materiales que presentan propiedades específicas de interés, como estabilidad térmica, resistencia al ataque ácido, carácter hidrófobo, bajo costo relativo y especialmente una estructura porosa, propiedad que ha propiciado el aumento en el número de investigaciones destinadas a su producción y aplicación. Materiales adsorbentes muy efectivos por su estructura porosa altamente desarrollada, grandes áreas de superficie ($500\text{-}3000\text{ m}^2\text{g}^{-1}$), y características químicas variables. Son muy versátiles con numerosas aplicaciones en diversas áreas. Los residuos lignocelulósicos provenientes de productos del campo han sido utilizados actualmente como precursores para la obtención de productos potencialmente útiles y con mayor valor agregado, como es el caso de los carbones; a pesar de ello, hay una gran cantidad de residuos que se producen cada año y que requieren su eliminación, lo cual conduce a un problema ambiental. Una de las formas actuales para reducir residuos generados por la agroindustria es la valorización y uso de materias primas renovables. Por tal motivo, una opción viable es la conversión de este tipo de residuos en carbones activados para ser aplicados y evaluados en diversos problemas de contaminación ambiental. Obtener carbones activados a partir de residuos agroindustriales de cascarilla de cebada, olotes de maíz y hojas de agaves mediante métodos de activación física, química e inducida con microondas para evaluar su capacidad adsorbente en la reducción de color y carga orgánica remanentes de tratamientos de electrofloculación en lactosuero ácido, son los objetivos de este trabajo.

Palabras Clave: residuos agrícolas, precursores, carbón activado, capacidad adsorbente, lactosuero.

ABSTRACT

Activated Carbon is the term used to describe carbon-based materials containing a well-developed internal pore structure. They are materials having specific properties of interest, such as thermal

stability, resistance to acid attack, hydrophobicity, relative low cost and especially a porous structure, a property that has led to an increase in the number of research to production and application. They are very effective adsorbent materials due to their highly developed porous structure, large surface area ($500\text{-}3000\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$), and chemical characteristics variables. They are very versatile material with many applications in various fields, mainly in the field of environment. Lignocellulosic wastes from farm products are currently used as precursors for the production of potentially useful products with higher added value, such as coals. Currently, agricultural and forestry residues found use as raw materials for other uses; nevertheless, there is a lot of waste produced each year and require disposal, leading to an environmental problem. One of the current ways to reduce waste generated by agribusiness is the recovery and use of renewable raw materials. Therefore, a viable option is to convert this waste into activated to be implemented and evaluated in various environmental pollution problems coals. Get activated from agroindustrial waste barley hulls, corn cobs and agaves sheets by physical activation methods, chemical and microwave induced adsorbent for their ability to reduce color and organic load remaining coals treatments electroflocculation acid whey, are the objectives of this work.

Keywords: agricultural residues, precursors, activated carbon adsorbent capacity, whey.

1. INTRODUCCIÓN

El carbón activado (CA) es un material microcristalino y no grafitico, es preparado por un proceso de carbonización teniendo como precursores materiales orgánicos, que son sometidos a procesos de activación con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie interna, potenciando su capacidad adsorbente [1]. Es probablemente el adsorbente más conocido y ampliamente utilizado, puede producirse a partir de una gran variedad de materiales. Es un producto muy cotizado en el mercado mundial debido a sus innumerables aplicaciones en diversos campos como la medicina, la industria biofarmacéutica y su aplicación en el tratamiento de aguas, en la eliminación de olores y sabores, como agente decolorante en la industria del azúcar [2, 3]. Asimismo, se utiliza en máscaras para la adsorción de gases tóxicos, para eliminar o recuperar compuestos orgánicos tóxicos de las aguas [4], la purificación del aire, en la industria química, farmacéutica, en la purificación de gases, en la decoloración de azúcares, vinos y licores, en la eliminación de cloro libre en agua potable, en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados, en el tratamiento de agua potable y renovación de aguas residuales según [5], en la recuperación de oro [6] y en estudios de separación de níquel-cobalto [7]. CA es un término común que se utiliza para describir materiales a base de carbón, que contienen una estructura porosa interna bien desarrollada. Los CA son conocidos por ser materiales adsorbentes muy efectivos debido a su estructura porosa altamente desarrollada que consiste de micro ($< 2\text{nm}$), meso ($2\text{-}50\text{ nm}$), y macroporos ($> 50\text{nm}$) [8], grandes áreas de superficie (desde 500 hasta $3000\text{ m}^2\cdot\text{g}^{-1}$) [5, 9], y características químicas variables en su superficie determinadas en gran parte por un cierto grado de heterogeneidad química relacionada con la presencia de heteroátomos, como oxígeno, nitrógeno, hidrógeno, azufre y fósforo [10]. El tipo y cantidad de estos elementos, depende de la naturaleza del material de partida y del proceso de activación [7, 10]. La alta reactividad química de los CA es debida a una amplia variedad de grupos funcionales presentes en su superficie y en la estructura del carbón que determinan el carácter ácido

a básico de la superficie. En este sentido, el carácter ácido de las superficies de los CA está estrechamente relacionado con las funcionalidades carboxilo, lactona, fenol, carbonilo, pirona, cromeno, quinona y grupos éter, y el carácter básico con grupos funcionales cromeno, cetona y pirona [10]. Las características químicas mencionadas, convierten a los CA en materiales muy versátiles con numerosas aplicaciones en diversas áreas, pero principalmente en el ámbito del medio ambiente [7]; sin embargo, la amplia utilidad de estos materiales se ve restringida por los altos costos de sus procesos de regeneración y reactivación [11]. Actualmente se ha destacado el uso de materiales carbonosos como los residuos agrícolas y forestales por su disponibilidad y bajo precio, como alternativa para la obtención de CA dejando de lado a los precursores típicos como el carbón, la turba y el lignito. Dos son los pasos principales involucrados en la en la preparación de CA a partir de residuos agroforestales. El método es iniciado con la carbonización del precursor a temperaturas inferiores a los 800 °C en ausencia de oxígeno [7], para posteriormente someterlo a un proceso de activación para desarrollar su superficie y el volumen de poro del CA. El proceso de carbonización permite enriquecer el contenido de carbono en materiales carbonosos mediante la descomposición térmica y posterior eliminación de componentes no constituidos por carbono. En esta etapa, la temperatura tiene un efecto significativo, así como la velocidad del calentamiento, la velocidad del flujo de nitrógeno y el tiempo de residencia [7]. De acuerdo con [8] las temperaturas elevadas en el proceso de carbonización (400-1000 °C) resultan en la disminución del rendimiento de carbón e incremento de la velocidad de liberación de gases y líquidos. A fin de obtener baja volatilización y altos rendimientos de carbón, deben de emplearse bajas velocidades de calentamiento (10-15 °C/min). Se ha encontrado que la microporosidad del carbón es independiente de la composición del precursor y de la velocidad del calentamiento en el proceso de carbonización. El objetivo del proceso de activación es mejorar el volumen de poro, agrandar el diámetro de poros y aumentar la porosidad del CA [7]. Este proceso puede ser llevado a cabo por tres métodos diferentes: activación física, química y fisicoquímica. La tabla 1 muestra condiciones de activación para la preparación de CA a partir de diversos residuos.

Tabla 1. Tipos de activación. Materias primas que han sido utilizadas en la producción de CA [7].

Activación	Biomasa	Activación
Química	Cáscara de coco, cáscara de nuez de macadamia, y huesos de durazno,	ZnCl ₂ /H ₂ SO ₄
	Cáscara de palma Cáscara de nuez Madera, huesos de durazno, roble, cáscara de nuez, sorgo Madera, huesos de durazno y nuez de macadamia. Cáscaras de nuez, coco y palma	ZnCl ₂ /HCl/NaOH H ₃ PO ₄ KOH K ₂ CO ₃
Física	Huesos de durazno, abeto, roble, madera de eucalipto, cáscaras de coco, nuez y plama, y lignina	Vapor
	Cáscara de palma, coco y nuez de macadamia, madera de eucalipto y lignina	CO ₂
Fisicoquímica	Madera Huesos de durazno Cáscara de coco Huesos de durazno Cáscara de coco	H ₃ PO ₄ /vapor H ₃ PO ₄ /CO ₂ ZnCl ₂ /CO ₂ H ₂ SO ₄ /CO ₂ NO ³⁻ /CO ₂

La activación se realiza en dos pasos, carbonización del material carbonoso en el rango entre 400 y 850 °C y algunas veces hasta 1000 °C, seguida por activación de la materia resultante a temperaturas elevadas (600-900 °C) en presencia de gases oxidantes tales como CO₂, vapor, aire o mezcla de gases. Cáscaras de pistache [1], de naranja [12], de cacahuete [13], de almendra [14], de coco [15], hojas de palma [16] y tallos de maíz [17], fueron algunas de las materias primas estudiadas por este método. La temperatura de carbonización para la activación física está en el rango entre 450 y 800 °C, la temperatura de activación en el rango de 800 y 900 °C, con duraciones de 1 y 2 h, obteniendo CA con estructuras porosas bien definidas y con superficies mayores a los 1000 m²/g tales como la cáscara de naranja, de cacahuete, de almendra y de coco. El gas más utilizado en este método es el CO₂ y se debe a que es limpio, fácil de manipular y facilita el control del proceso de activación debido a su baja velocidad de reacción a temperaturas alrededor de los 800 °C.

La activación química combina carbonización y activación en un solo paso. El proceso por esta vía se realiza de forma simultánea, ya que el precursor se mezcla con agentes activantes químicos que cumplen la función de actuar como agentes deshidratantes y oxidantes a la vez, lo cual resulta en el desarrollo de mejores estructuras porosas en los CA. Agave, hojas de palma, madera, cáscara de coco, cascarilla de arroz, eucalipto, granos de café, cascarilla de semillas de girasol, residuos de té, tallos de tomate, cáscara de pomelo y caña de azúcar son algunas de las materias primas que fueron empleadas para obtener CA químicamente (tabla 2). La utilidad de los CA depende de la superficie BET que presenten después del tratamiento de activación [18].

En este sentido, [19] obtuvo CA a partir de cascarilla de semillas de girasol con ZnCl₂, temperatura de activación de 500 °C con una duración de 1 h, logrando desarrollar superficies de 2240 m²/g y estructuras porosas bien definidas con un volumen total de poros de 1.318 cm³/g. En relación a la activación con KOH destacan estudios [20] con hojas de té y [21] cáscaras de semillas de argán, quienes obtuvieron CA con superficies BET de 2841 y 2062 m²/g, respectivamente, con temperaturas de activación entre 500 y 600 °C y temperaturas de activación de 800 °C con duración de 1 h. Respecto de la utilización de H₃PO₄ se encuentran los estudios realizados por [22] con cáscara de arroz y [23] con caña de azúcar, que obtuvieron CA con temperaturas de activación de 500 °C durante 1 h desarrollando superficies de los 1800 y 1600 m²/g, respectivamente. Igualmente, sobresalen los estudios de [23] quien obtuvo CA a partir de madera con superficies máximas de 2281 m²/g y estructuras porosas bien desarrolladas obteniendo un volumen total de poro de 1.73 cm³/g.

La activación físicoquímica es una ruta de tratamiento adicional para obtener CA y se realiza en un sólo paso. En este método de activación, la materia prima, es calentada a temperaturas moderadas (500-700 °C) bajo flujo constante de vapor puro o bien calentado a 700-800 °C bajo flujo de vapor. Algunas de las materias primas estudiadas con este método son cáscaras de pistache, cáscaras de almendra y cáscaras de coco [7] (tabla 3) y se tiene que para este método el rango de superficie total es de 796 a 1077 m²/g, el cual es mayor al obtenido en la activación física y similar al de la activación química.

Tabla 2. Sumario de propiedades físicas de CA producidos bajo condiciones óptimas mediante activación química.

Precursor	Agente	Cond. de carbonización (°C/h)	Cond. óptimas de activac (°C/h)	S _{BET} (m ² /g)	V _T (cm ³ /g)	V _p (cm ³ /g)	Refer
Tallo de uva	ZnCl ₂	700/2	700/36	1411	0.723	-	[19]
Agave	ZnCl ₂	-	400	1281	-	0.242	[20]
Macroalgas	KOH	750	750	1982	0.914	-	[21]
Hojas de té	KOH	600/2	800/1	2841	1.366	-	[22]
Cáscara de semilla de argán	KOH	500/3	800/3	2062	-	-	[23]
Hojas de palma	H ₃ PO ₄	170/1	425/ 0.5	1109	0.903	-	[24]
Cáscara de arroz	H ₃ PO ₄	-	500/1	1803	3.20	-	[25]
Caña de azúcar	H ₃ PO ₄	-	500/1	1611	1.233	0.129	[26]
Residuos de té	H ₃ PO ₄	-	450	1387	-	0.305	[27]
Tallos de tomate	H ₃ PO ₄	-	450	1248	-	0.182	[28]
Hojas de palma	H ₃ PO ₄	800/1	971/1	725	1.26	0.31	[29]
Granos de café	H ₃ PO ₄	-	700/1	186	-	-	[29]
Madera	H ₃ PO ₄	-	500/0.5	968	0.70	0.18	[30]
Jacaranda	H ₃ PO ₄	800/1	-	326	0.152	-	[31]
Granos de café	H ₃ PO ₄	-	450	925	0.718	0.046	[32]
Cáscara de pomelo	H ₃ PO ₄	-	100/12	1380	-	-	[33]
Cascarilla de arroz	H ₃ PO ₄	-	450/1	1270	1.37	-	[34]

A pesar de que los residuos biomásicos han encontrado usos como materia prima en otras aplicaciones, hay una gran cantidad de tales residuos agrícolas y forestales que se producen cada año y que requieren su eliminación, lo cual conduce a un problema ambiental [23]. Una opción viable es la conversión de este tipo de residuos en CA, que puede ser utilizado o comercializado como materia prima para varias industrias y aplicado y evaluado en diversos problemas de contaminación ambiental.

El CA es capaz de adsorber una gran diversidad de sustancias gaseosas y líquidas, y es conocido desde principios del siglo pasado. En la actualidad, es ampliamente utilizado para remover color, olor, sabor y un sin número de impurezas orgánicas durante el tratamiento de agua para uso

doméstico e industrial. Por tanto, resulta de suma importancia la obtención de CA a partir de residuos vegetales derivados de la agroindustria tales como los de cebada, maíz y agave que se propone en este trabajo. Se obtendrán mediante activación física y química con utilización de ácido fosfórico y cloruro de zinc como agentes activantes, para posteriormente evaluar sus capacidades adsorbentes en la reducción de la coloración amarilla que presentan los lactosueros ácidos, originada principalmente por la presencia de riboflavina, así como reducir, al menos en una cantidad superior al 50%, su carga orgánica.

Tabla 3. Condiciones de activación físicoquímica y características físicas de CA [7].

Precursor	Condiciones de activación	S_{BET} (m^2/g)	V_{T} (cm^3/g)	V_{μ} (cm^3/g)
Cáscaras de pistache	Vapor, 900 °C. Activación con KOH	796	-	0.322
Cáscaras de almendra	Vapor, 800 °C. Ca, 2.1-12.2% pp	1234	0.90	0.36
Cáscaras de coco	Vapor, 800 °C. Cu, 3-10% pp	1077	-	0.1003
Cáscaras de coco	Vapor, 800 °C. Cu, 3% pp	1054	0.517	0.092
Cáscaras de pistacho	CO ₂ . Activación con NaOH	1064	0.51	0.16

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las muestras de cascarilla de cebada son obtenidas de la producción de cebada maltera en la localidad de Apan, como residuos del procesamiento de la cebada forrajera o maltera. Los residuos de rastrojo de maíz, obtenidos en la localidad de Almoloya. Las hojas de agaves (*A. salmiana*), derivadas de la elaboración de pulque, obtenidas del municipio de Apan. Se sometieron a procedimientos de análisis proximal; lavadas previamente con agua para eliminar vestigios de polvo o tierra, y posteriormente secadas en exposición al sol, en charolas de aluminio durante tres días. Se les determinó humedad, extraíbles y cenizas, grasas [35], proteína [32], lignina (pendiente) y carbohidratos totales. Este último se obtiene mediante el cálculo.

Muestras secas entre 20-60 g son colocadas en cápsulas de porcelana y carbonizadas en mufla evaluando niveles de temperatura de 300, 400 y 500 °C, tiempos de 30, 45 y 60 min, y velocidades de calentamiento de 10 °C/min [34]. Al término del calentamiento, las muestras son equilibradas térmicamente a temperatura ambiente y trituradas y tamizadas para seleccionar granulometrías predeterminadas. Finalmente, las muestras tratadas, se depositan en envases y son almacenadas hasta su uso posterior. Este procedimiento se realiza antes de cualquier activación (física o química).

Muestras entre 20 g y 60 g, con granulometrías entre 0.1-0.5 mm, son activadas utilizando CO₂ como agente activante empleando temperaturas de 400, 500 y 600 °C con tiempos de activación de 30, 60 y 90 minutos. Al término del tratamiento, los CA obtenidos se colectan y son enfriados. Los CA son lavados con HCl 1 M y luego con agua destilada hasta alcanzar pH 7 constante [3, 14, 36]. Finalmente, secados y almacenados en recipientes para su uso posterior. Se sigue el mismo

procedimiento de activación utilizando vapor de agua como agente activante, exceptuando el lavado con ácido y agua destilada [34]. Muestras 60 g, se impregnan con 120 mL de solución de ácido fosfórico o cloruro de zinc (relación constante m/v 1:2) en concentraciones de 30, 60 y 85 % (% p/p) y con agitación ocasional. El material impregnado se deja en un desecador con un tiempo de contacto de 24 h. Transcurrido el tiempo, la muestra se carboniza en mufla a temperaturas de 450, 550 y 650 °C con tiempos de activación de 1, 2 y 4 h. Después de la activación, el CA que se obtiene, se colecta y se deja enfriar a temperatura ambiente en un desecador y posteriormente, son lavados con agua destilada caliente (70 °C) hasta que el pH de la solución esté en 6-7. Por último, el CA es secado en estufa a 110 °C durante 24 h. El CA obtenido, es almacenado para su uso posterior [24, 35]. Muestras de 10 g con tamaño de partícula de 0.1-0.5 mm, se impregnan con 20 mL de solución de ácido fosfórico o cloruro de zinc (relación m/v 1:2) en concentraciones de 30, 60 y 85 % (% p/p) y con agitación ocasional. El material impregnado se deja en un desecador con un tiempo de contacto de 24 h. Transcurrido el tiempo, la muestra se transfiere a un horno de microondas con potencias de microondas de 400, 600 y 800 W, y con tiempos de radiación de 5, 10 y 15 minutos. Después de la activación, el CA se colecta y se deja enfriar a temperatura ambiente en un desecador y posteriormente, es lavado con agua destilada caliente (70 °C) hasta que el pH de la solución esté en 6-7. Por último, el CA es secado en estufa a 110 °C durante 24 h. Se almacena para su uso posterior [36]. Los CA obtenidos, son caracterizados en sus contenidos de Humedad, Cenizas, Densidad aparente [36-39], Distribución de poros siguiendo las metodologías reportadas en algunos trabajos [40-42], Microscopía electrónica de barrido (MEB), se analiza la morfología y características físicas y Tamaño y distribución de partículas mediante un analizador de difracción por rayos láser [43]. Se propone un diseño factorial fraccionado del tipo L9 (3)⁴, que indica llevar a cabo 9 experimentos y a cada uno de los niveles del factor de ruido (R) a utilizar. Se trabaja con 4 variables a tres niveles cada uno y se considera como factor de ruido el material de origen (residuos de cebada, rastrojos de maíz y hojas de agave). La matriz de experimentación de posibles combinaciones de variables por niveles es de 27 experimentos, y se han de cumplir para cualquiera de los tres tipos de activación, excepto en la pirólisis que se obtendrá (sin efectos de ruido). Las pruebas cinéticas de remoción de color y carga orgánica en el lactosuero, se realizan inicialmente para encontrar el tiempo de equilibrio. En 2 g de CA con un volumen de 100 mL de lactosuero bajo agitación y temperatura constantes, 350 rpm y 30°C, respectivamente. Se determina la capacidad o poder adsorbente de los CA. El método para valorar dicho poder adsorbente de los CA, es la determinación de una curva cinética de la decoloración de una disolución estándar de azul de metileno en contacto con los adsorbentes evaluados mediante fotocolorimetría, con el auxilio de espectrofotómetro SPEKOL 11, a longitud de onda de 660 nm. El azul de metileno es el compuesto más usado en la evaluación del poder decolorante del CA y su adsorción da indicios de la presencia de macro y mesoporos [43]. Para ello se pesa 0.1 g de cada CA y se pone en contacto con una solución estándar de azul de metileno al 0.00075%, previamente determinada su absorbancia. Para comparar la eficiencia de la adsorción de CA bajo diferentes condiciones, se realiza la comparación de las constantes de velocidad del proceso de adsorción, dicha velocidad de decoloración de una solución estándar de azul de metileno es un indicador muy representativo, y puede expresarse como una reacción de primer orden según:

$$dx/dt = k'_{abs} * \dot{a} \quad (1)$$

donde:

dx/dt : es la velocidad del proceso de adsorción; k'_{abs} : es la constante cinética aparente del proceso de adsorción; \hat{a} : es la concentración residual del adsorbato.

Posteriormente son evaluados otros efectos, se valora el tiempo de contacto. Se toman 100 mL del lactosuero en evaluación y se depositan en un vaso de precipitados al cual se le añaden 2 g de CA manteniéndose las condiciones antes mencionadas. Se toman muestras de 5 mL de cada muestra tratada en intervalos de 30 minutos a lo largo de 4 horas de tratamiento. En cada toma, la muestra se centrifuga durante 20 minutos a 4000 rpm, se filtra y se hacen las diluciones respectivas en su caso, para el cálculo del color.

Se utiliza el método de inmersión estándar para analizar el efecto de la cantidad de adsorbente, el cual consiste en variar la cantidad de CA (desde 0.3 a 1.0 g) por cada 50 mL de muestra a una temperatura constante de 30°C con agitación continua de 350 rpm. Del análisis del proceso de adsorción se elaboran las isothermas experimentales correspondientes a la remoción del color de lactosuero con el CA más eficaz de los tres materiales estudiados [45]. El equilibrio del proceso de adsorción es analizado mediante el modelo de Freundlich, cuya ecuación es la siguiente:

$$q_e = K_F C_e^n \quad (2)$$

donde:

q_e es la cantidad de soluto adsorbido (“adsorbato”) en mg/g, K_F es la constante de Freundlich relacionada con la capacidad de adsorción en mL/g, C_e representa la concentración en el equilibrio de la fase líquida en mg/mL y, n es una constante adimensional que indica la intensidad de la adsorción.

Siendo su forma lineal:

$$\ln q_e = \ln K + 1/n \ln C_e \quad (3)$$

La cuantificación de la cantidad adsorbida q_e se determinará usando la ecuación:

$$q_e = [(C_0 - C_e) V] / m \quad (4)$$

donde:

q_e sigue siendo la cantidad de soluto adsorbido, (mg/g), C_0 y C_e son las concentración inicial y de equilibrio de la solución, (mg/mL), V = Volumen de la solución (mL), m = Masa del adsorbente, (g)

El modelo de Langmuir, cuya representación lineal es expresada del siguiente modo:

$$C_e/q_e = 1/(Q_0 \cdot b) + C_e/Q_0 \quad (5)$$

donde:

C_e es la concentración en el equilibrio (mg/L), q_e es la capacidad de adsorción en el equilibrio (mg/g), Q_0 es la máxima cantidad de adsorbato que puede ser adsorbido en la monocapa, b es la constante relacionada a la energía de adsorción (L/mg). Los valores de Q_0 y b se hallarán luego de graficar C_e/q_e versus C_e . La literatura contiene numerosos estudios en los cuales se evalúa la capacidad de adsorción y el tiempo de servicio de columnas de CA, procedente de diferentes precursores, dispuesto en forma de gránulos (CAG), fibras (FCA), monolitos o polvo (PCA). Así, por ejemplo, con esta

metodología se examina la remoción de color y de carga orgánica presente en un lactosuero ácido con columnas de CA obtenido de residuos vegetales diferentes. En otros estudios, las columnas de CA se han utilizado para remover níquel (Ni) y cobre (Cu) de medios acuosos contaminados con aceite de palma; en ellos, se verifica que el proceso de remoción de cobre se puede ajustar a tres modelos: Bohart y Adams, Thomas y Yoon-Nelson, no así el de níquel. En general, es posible verificar que el modelo de Bohart y Adams, que aunque fue desarrollado para gases, se ajusta muy bien para la remoción de tintas y colorantes de efluentes acuosos [44].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

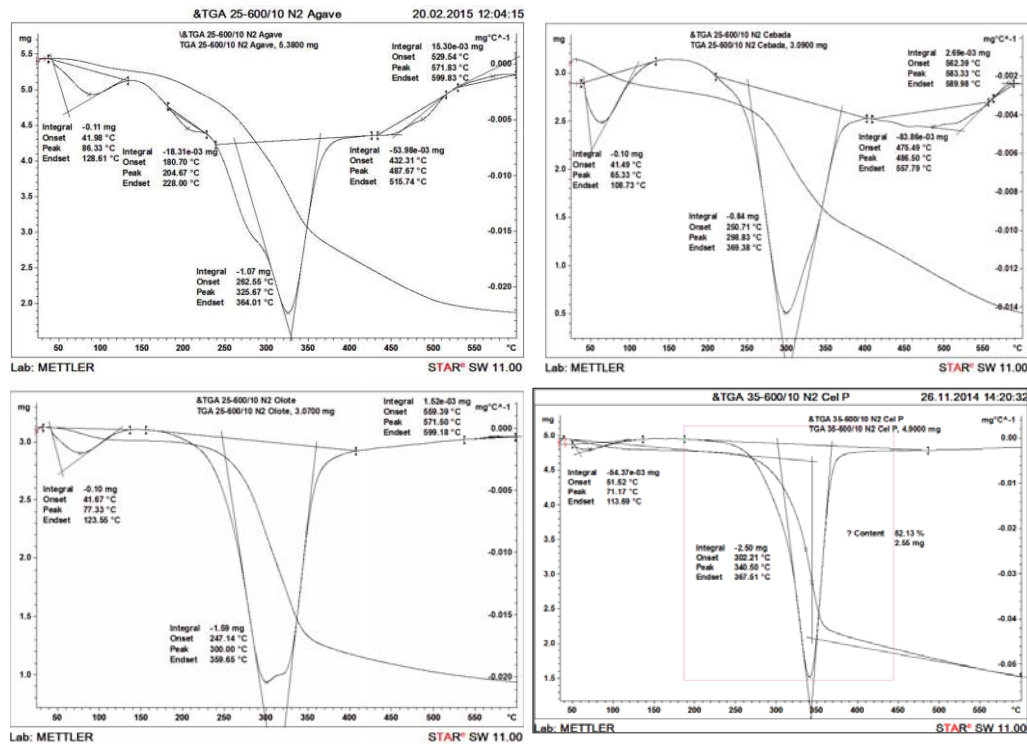
Hasta el momento de inicios de este proyecto se tienen los primeros resultados de caracterización físicoquímica de los precursores que se utilizarán. Resultados parciales del análisis proximal se muestran en las tablas 6 y 7. Por los contenidos de humedad (tabla 6), se encuentra correspondencia con lo reflejado en los DTGA. Quedan pendientes los análisis químicos de lignina, hemicelulosa y celulosa en sus distintas formas y sus respectivas discusiones. Se observan diferencias significativas entre los tres precursores lo cual es indicativo que por los grupos funcionales diferentes que puedan presentar, las características de los CA que se obtendrán han de ser diferentes. Los análisis térmicos indican igualmente diferencias importantes en contenidos de celulosa, lignina y hemicelulosa como reportan [8, 27]. La figura 1 a, agave; b, cebada, c, olote y d, celulosa pura, permite apreciar estas diferencias. La espectroscopía infrarroja (FTIR) permitió observar la presencia de muchas bandas que se sobreponen por lo cual resulta difícil encontrar diferencias entre ellas. Igualmente se observaron diferencias en el tamaño y distribución de partículas por lo que se infiere que se tendrán diferencias en los CA a obtener.

Tabla 6. Análisis proximal parcial de los precursores de CA

	CENIZAS (%)	HUMEDAD (%)	MATERIAL VOLATIL (%)	C FIJO (%)	ANÁLISIS ELEMENTAL (%)		
					Carbono	Hidrógeno	Nitrógeno
Agave	9,92	6,5	79,3	10,65	44,63	5,83	0,02
desv est	0,049	0,132	0,179	0,120	0,452	0,156	0,002
%CV	0,49	2,03	0,23	1,13	1,01	2,67	10,00
Cebada	7,91	7,38	79,84	4,86	42,08	6,32	0,65
desv est	0,074	0,055	0,099	0,076	0,322	0,077	0,087
%CV	0,93	0,75	0,12	1,56	0,76	1,22	13,42
Olote	2,54	6,91	84,46	6,09	43,93	6,12	0,58
desv est	0,023	0,067	0,339	0,143	0,225	0,203	0,084
%CV	0,91	0,97	0,40	2,35	0,51	3,32	14,48

Tabla 7. Contenidos de grasas y azúcares de los precursores de CA

	%GRASAS	Desv Est	%CV	%AZÚCARES	Desv Est	%CV
AGAVE SALMIANA	1,68	0,002	0,10	42,29	0,200	0,47
OLOTE	0,82	0,010	1,28	19,34	0,217	1,12
CEBADA	2,06	0,029	1,39	27,44	0,063	0,23



Figura

1.

Análisis térmicos de los precursores de CA. a) Agave, b) Cebada, c) Olote y d) Celulosa pura

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones son parciales ya que a la fecha ya que solo se han iniciado las caracterizaciones de los materiales a emplear. Se puede inferir que existen diferencias entre las características de los precursores a utilizar en la obtención de CA, por lo cual se deduce que los CA que se obtengan habrán de tener diferencias entre sí y con ello capacidades diferentes de adsorción, tamaños y distribución de poros así como superficies activas en $\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$.

BIBLIOGRAFÍA

1. DE YUSO, A. Desarrollo de carbones activados a partir de residuos lignocelulósicos para la adsorción y recuperación de tolueno y n-hexano. Tesis de doctorado. Universidad San Jorge, Villanueva de Gállego, 2012. pp. 5-6.
2. PRÍAS, J. et al. Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Gadua Angustifolia* Kunth. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 2012, 35: 157-166.

3. SOLÍS, J., et al. Obtención de carbón activado a partir de residuos agroindustriales y su evaluación en la remoción de color del jugo de caña. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 2012, 27(1): 36-48.
4. VALDÉS, H. y ZAROR, C. A. Influencia de la composición química superficial del carbón activado en la adsorción de benzotiazoles. *Ingeniare, Revista Chilena de Ingeniería*, 2010, 18(1):38-43.
5. RIVERA, J., M. et al. Activated carbon modifications to enhance its water treatment applications. An overview. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 187 1-23.
6. MUÑOZ, G. Desarrollo de carbones activados magnéticos para la recuperación de oro en soluciones de cianuro. *Avances*, 2010, Vol. 2, Pags. C18-C24.
7. SALAS D. et al. Estudio preliminar de la adsorción de níquel y Cobalto utilizando carbón vegetal de conchas de coco. *Tecnología Química*, 2012, 32(2), 166-176.
8. BHATNAGAR, et al. An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications. *Chemical Engineering Journal*, 2013, 219: 499-511.
9. ABDULLAH, M. O., et al. Automobile adsorption air-conditioning system using oil palm biomass-based activated carbon: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15(4): 2061-2072.
10. SHAFEEYAN, M. S., et al. A review on surface modification of activated carbon for carbon dioxide adsorption. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2010, 89: 143-151.
11. DEMIRBAS, A. Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: a review. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 167(1-3): 1-9.
12. ROSAS, J. M., et al. On the preparation and characterization of chars and activated carbons from orange skin. *Fuel Processing Technology*, 2010, 91: 1345–1354.
13. WU, M., et al. Preparation and characteristics of medicinal activated carbon powders by CO₂ activation of peanut shells. *Powder Technology*, 2013, 247: 188-196.
14. OMRIA, A., et al. Preparation, modification and industrial application of activated carbon from almond shell. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2013, 19: 2092-2099.
15. Ahmad, F., Daudb, W. M. A. W., Ahmad, M. A. y Radzi, R. (2013). The effects of acid leaching on porosity and surface functional groups of cocoa (*Theobroma cacao*)-shell based activated carbon. *Chemical Engineering Research and Design*, 91: 1028–1038.
16. HAMEED, B. H., et al. Preparation of oil palm empty fruit bunch-based activated carbon for removal of 2,4,6-trichlorophenol: optimization using response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 164(2-3): 1316-1324.
17. WANG, Z., et al. Corn stalks char from fast pyrolysis as precursor material for preparation of activated carbon in fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, 2014, 167: 551-554.
18. HOSEINZADEH, R., et al. The effects of a microwave heating method on the production of activated carbon from agricultural waste: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2013, 100: 1-11.

19. OZDEMIR, I., et al. Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation. *Fuel Processing Technology*, 2014, 125: 200-206.
20. NIETO, C. y RANGEL, J. R. In situ transformation of agave bagasse into activated carbon by use of an environmental scanning electron microscope. *Microporous and Mesoporous Materials*, 2013, 167: 249-253.
21. PENG, C., et al. Promising activated carbons derived from waste tea-leaves and their application in high performance supercapacitors electrodes. *Electrochimica Acta*, 2013, 87: 401– 408.
22. ELMOUWAHIDI, A., et al. Activated carbons from KOH-activation of argan (*Argania spinosa*) seed shells as supercapacitor electrodes. *Bioresource Technology*, 2012, 111: 185-190.
23. VARGAS, A. M., et al. Preparation and characterization of activated carbon from a new raw lignocellulosic material: flamboyant (*Delonix regia*) pods. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(1): 178-184.
24. DING, L., et al. A simple route for consecutive production of activated carbon and liquid compound fertilizer from rice husk. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2014, 446: 90-96.
25. TIRYAKIA, B., et al. Comparison of activated carbon produced from natural biomass and equivalent chemical compositions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2014, 105: 276-283.
26. REDDY, K. S. et al. A comparison of microstructure and adsorption characteristics of activated carbons by CO₂ and H₃PO₄ activation from date palm pits. *New Carbon Materials*, 2012, 27: 344-351.
27. LAMINE, S. M., et al. Chemical Activation of an Activated Carbon Prepared from Coffee Residue. *Energy Procedia*, 2014, 50: 393-400.
28. NUNELL, G. V., et al. Conversion of biomass from an invasive species into activated carbons for removal of nitrate from wastewater. *Biomass and Bioenergy*, 2012, 44: 87-95.
29. TREVIÑO, H., et al. Synthesis and adsorption properties of activated carbons from biomass of *Prunus domestica* and *Jacaranda mimosifolia* for the removal of heavy metals and dyes from water. *Industrial Crops and Products*, 2013, 42: 315– 323.
30. REFFAS, A., Carbons prepared from coffee grounds by H₃PO₄ activation: Characterization and adsorption of methylene blue and Nylosan Red N-2RBL. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 175: 779-788.
31. MA, X. y OUYANG, F. Adsorption properties of biomass-based activated carbon prepared with spent coffee grounds and pomelo skin by phosphoric acid activation. *Applied Surface Science*, 2013, 268: 566-570.
32. LIU, H., et al. Enhancement of Cr(VI) removal by modifying activated carbon developed from *Zizania caduciflora* with tartaric acid during phosphoric acid activation. *Chemical Engineering Journal*, 2014, 246: 168-174.

33. LIOU, T. H. Development of mesoporous structure and high adsorption capacity of biomass-based activated carbon by phosphoric acid and zinc chloride activation. *Chemical Engineering Journal*, 2010, 158: 129-142.
34. DE CELIS, J., et al. In situ modification of activated carbons developed from native invasive wood on removal of trace toxic metals from wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 161: 217-223.
35. APPI. *Fibrous materials and Pulp Testing T1-T270*, Paper and Paperboard Testing T400-T550. Vol. 1. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. TAPPI Press, Norcross, Georgia. 1990.
36. BOUCHELTA, C., et al. Effects of pyrolysis conditions on the porous structure development of date pits activated carbon. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2012, 94: 215-222.
37. WU, M., et al. Preparation and characteristics of medicinal activated carbon powders by CO₂ activation of peanut shells. *Powder Technology*, 2013, 247: 188-196.
38. XIN, Y., et al. Preparation and modification of activated carbon for benzene adsorption by steam activation in the presence of KOH. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2013, 23: 395-401.
39. PEREIRA, R. G. et al. Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H₃PO₄ and ZnCl₂ as activating agents for BSA and α -lactalbumin adsorption. *Fuel Processing Technology*, 2014, 126: 476-486.
40. HESAS, R. H, et al. Preparation of granular activated carbon from oil palm shell by microwave-induced chemical activation: Optimisation using surface response methodology. *Chemical Engineering Research and Design*, 2013, 91: 2447-2456.
41. PRIETO, F., et al. Modification and chemical characterization of barley starch. *International Journal of Applied Science and Technology (IJAST)*, 2012, Vol. 2(4), p.30-39.
42. SARMIENTO, C., et al. Preparación de carbón activado mediante la activación química de carbón mineral. *Ciencia*, 2004, 12(1), 52 – 63.
43. PRIETO García, J. O, et al. La adsorción y el intercambio de iones Níquel (II) utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 2009, 13: 47-54. Argentina. ISSN0329-5184.
44. BALCI, B., et al. Use of BDST and an ANN model for prediction of dye adsorption efficiency of Eucalyptus camaldulensis barks in fixed-bed system. *Expert Systems with Applications* 2011, (38): 949-956.