

Estudio de la capacidad adsorbente del biocarbón obtenido mediante tecnologías apropiadas como medio para purificar agua de lluvia

*María I López*¹, *Beatriz Soledad*², *Johana Delgado*³, *Gloria Aponte*⁴
malopez@ucab.edu.ve¹, bsoledad.ucab@gmail.com², b.soledad@unimet.edu.ve², jodelgad@ucab.edu.ve³,
gloriam.aponte@gmail.com⁴

Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela¹²³⁴

Resumen

En el marco del proyecto “Fomento del empoderamiento, de la participación y del alcance comunitarios, y disminución del riesgo de apatridia en el Distrito Capital” que desarrolló la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) actuando como socio de la agencia para los refugiados (ACNUR) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), capítulo agua, saneamiento e higiene, el equipo de profesores investigadores del Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) de la UCAB, con base en las tecnologías apropiadas, desarrolló un filtro para purificar agua de lluvia que contiene, entre otras, una capa de biocarbón obtenido en dicho Centro mediante un proceso de pirólisis lenta de tallos de bambú y de madera. En ese orden de ideas, el presente trabajo consistió en el estudio del uso de dicho biocarbón como medio para purificar agua, previo a su potabilización, tal y como se estableció en el proyecto UCAB-ACNUR precitado. Para ello se utilizó el método de adsorción del azul de metileno en medio acuoso sobre una fase sólida. Los resultados permiten concluir que la capacidad adsorbente del biocarbón es adecuada para los fines antes mencionados, con un 87 % de retención de azul de metileno. Se recomienda el uso de los filtros con biocarbón como uno de los componentes de los sistemas de potabilización de agua del proyecto ACNUR-UCAB, así como estudios detallados de isothermas de adsorción, área superficial y de activación química del biocarbón con productos ácidos y básicos de bajo costo y de fácil acceso para las comunidades implicadas en el proyecto con ACNUR.

Palabras clave: tecnologías apropiadas, biocarbón, adsorción física.

Study of the absorbent capacity of biochar obtained through appropriate technologies as a means of purifying rainwater

Abstract

Within the framework of the project "Promoting community empowerment, participation and outreach, and reducing the risk of statelessness in the Capital District" developed by the Andrés Bello Catholic University (UCAB) acting as a partner of the refugee agency (UNHCR) of the United Nations (UN), chapter on water, sanitation and hygiene, the team of research professors of the Center for Engineering Research and Development (CIDI) of UCAB, based on appropriate technologies, developed a filter to purify rainwater that contains, among other things, a layer of biochar obtained in said Center through a process of slow pyrolysis of bamboo and wood stems. In that order of ideas, the present work consisted of the study of the use of said biochar as a means to purify water, prior to its purification, as established in the UCAB-UNHCR project mentioned above. For this, the adsorption method of methylene blue in aqueous medium on a solid phase was used. The results allow us to conclude that the adsorbent capacity of biochar is adequate for the aforementioned purposes, with 87% retention of methylene blue. The use of biochar filters is recommended as one of the components of the water purification systems of the UNHCR-UCAB project, as well as detailed studies of adsorption isotherms, surface area and chemical activation of biochar with acidic and basic products of low cost and easily accessible for the communities involved in the project with UNHCR.

Key words: appropriate technologies, biochar, physical adsorption.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro del alcance del proyecto “Fomento del empoderamiento, de la participación y del alcance comunitarios, y disminución del riesgo de apatridia en el Distrito Capital” que desarrolló la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB) actuando como socio de la agencia para los refugiados (ACNUR) de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se encuentra el capítulo agua, saneamiento e higiene, en el cual participó el equipo de profesores investigadores del Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería (CIDI) de la UCAB con la responsabilidad de diseñar e instalar un sistema para potabilizar agua de lluvia en las comunidades aledañas a la UCAB, específicamente Antimano y la Vega del Distrito Capital. Dicho sistema requiere, entre otros componentes, filtros purificadores.

Ahora bien, al presente, los sistemas comerciales de filtración para purificar agua suelen utilizar carbón activado como uno de los componentes de su lecho filtrante, especialmente para retener sustancias orgánicas que dan al agua olor, color y sabor desagradables. [1,2] sin embargo, el costo del carbón activado comercial es relativamente alto, por lo que se hace necesario recurrir a métodos de obtención más económicos [1,3].

En virtud de ello, en el marco de las denominadas tecnologías apropiadas, se elaboró un filtro para purificar agua de lluvia que contiene, entre otras, una capa de Biocarbón que fue obtenido, en el CIDI, mediante un proceso de pirólisis de tallos de bambú y de madera [4]

Cabe mencionar que el proyecto que involucró la producción de Biocarbón en el CIDI, tenía como propósito su aplicación como acondicionador de suelos con fines agrícolas para las comunidades periféricas a la UCAB, no obstante, al surgir el proyecto UCAB-ACNUR, se decidió utilizarlo como componente del filtro purificador de agua, debido a las propiedades adsorbentes del Biocarbón.

II. Adsorción

La adsorción es el proceso mediante el cual una sustancia en fase líquida o gaseosa, se adhiere a la superficie de otra, generando una interfase que

puede ser gas-líquido, gas-sólido, o líquido-sólido. Se trata de un fenómeno superficial que se produce como resultado de las fuerzas atractivas entre las moléculas de la sustancia que se va a adsorber (adsorbato) y la superficie del adsorbente. [5]

Se conocen dos tipos de adsorción:

- Adsorción física o fisisorción: ocurre por las interacciones moleculares atractivas entre el adsorbato y la superficie adsorbente; las fuerzas presentes (fuerzas de Van der Waals) no tienen la suficiente intensidad para generar una reacción química entre ambos componentes por lo que no existen cambios en la composición de las sustancias.

En este proceso, que tiene un alto grado de reversibilidad, el adsorbato no penetra dentro de la red cristalina ni se disuelve en ella, puede formar multicapas y permanece totalmente sobre la superficie del adsorbente.

- Adsorción química o quimisorción: ocurre debido a fuerzas iónicas o enlaces covalentes, en sitios específicos del adsorbente denominados sitios activos, genera cambios de composición en el adsorbato y suele ser irreversible a temperaturas moderadas o bajas.

Cabe agregar que, a diferencia de la adsorción, en la absorción hay una penetración física de partículas de una fase dentro de la otra, si bien es posible que los dos procesos se den de manera simultánea. [5,6]

En el presente trabajo se estudia la adsorción física de una sustancia orgánica: azul de metileno, presente en un medio acuoso, sobre una superficie sólida de biocarbón.

III. Carbón Activado

El carbón activado (CA) tiene diversas aplicaciones ya que su porosidad, su gran área superficial y su reactividad superficial generan un alto poder adsorbente; esas características dependen de la materia prima utilizada para obtenerlo y de la activación a la que fue sometido. [7, 8]

El CA se obtiene por carbonización de materiales orgánicos, especialmente de origen vegetal, que se someten a un proceso de activación con el objeto de aumentar su porosidad y desarrollar su superficie

interna. Dicha activación se puede obtener a partir de dos métodos, a saber: activación física o térmica y activación química.

- La activación física consiste en someter al carbón a temperaturas muy altas (entre 800 y 1000°C) en presencia de vapor de agua o dióxido de carbono para provocar la porosidad, este proceso se lleva a cabo en dos etapas: la carbonización de la materia prima, en la que se forma una porosidad inicial, y la gasificación controlada del carbonizado. que elimina los productos volátiles y átomos de carbono, aumentando el volumen de poros y la superficie específica.

- La activación química consiste en impregnar al carbón con un agente reactivo
- (generalmente H_3PO_4 , HNO_3 ; $NaOH$ o KOH , entre otros) y someterlo a temperaturas moderadamente altas (al menos 400 °C). [8, 9, 10]

Desde el punto de vista estructural, el CA está conformado por una serie de planos hexagonales que, a diferencia del grafito, no poseen una organización uniforme en el plano perpendicular a los hexágonos, tal y como se representa en la Figura 1:

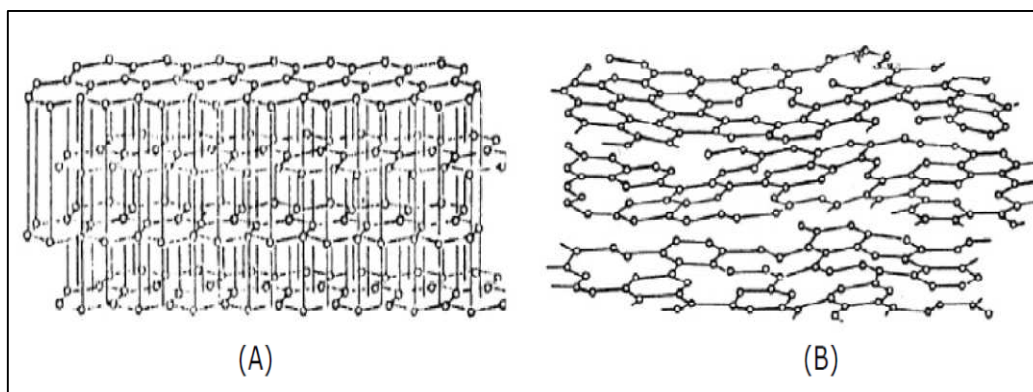


Figura 1: Esquema representativo del (A) arreglo estructural de las capas planas del grafito, (B) estructura propuesta de las capas del carbón activado. **Fuente:** González, B. (2017), P.28.

[7], solapados entre sí, generan los espacios que conforman la porosidad del CA [11].

Desde el punto de vista ambiental cabe destacar que el CA puede ser obtenido a partir de productos de desecho en la agroindustria, esto reduce los costos por materia prima y se considera amigable para el ambiente ya que se da uso a un residuo en un proceso que no genera emisiones de CO_2 [7], sin embargo, es importante considerar también si se va a regenerar o a desechar, una vez que se satura del material adsorbido.

IV. Biocarbón

El biocarbón se obtiene a partir de la descomposición térmica (pirólisis) de una cierta biomasa en ausencia de oxígeno para evitar así las reacciones de combustión que consumen carbono y forman los óxidos respectivos (CO y CO_2).

Durante la pirólisis, la materia orgánica sufre una serie de reacciones simultáneas y sucesivas que se producen cuando la biomasa, en un ambiente libre de oxígeno, se somete a temperaturas que pueden ir desde los 350°C hasta los 800°C, generando entre otros productos, biocarbón. En el caso del bambú, el mecanismo de la pirólisis es el siguiente [12]:

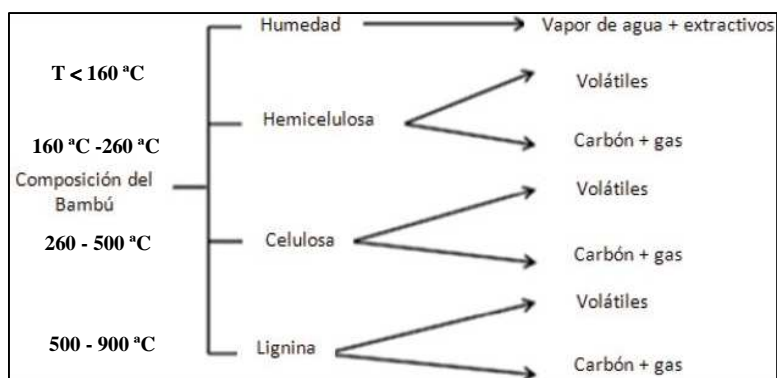


Figura 2: Mecanismo de la pirólisis del bambú (Oyedum et. al (2013) modificado. por Andrade (2016)

Este proceso estabiliza al carbono y lo transforma en un material más resistente a la descomposición química y biológica.

La eficiencia de la descomposición térmica depende de una serie de factores como la materia prima, la temperatura, la presión en el horno quemador, la tecnología para el pirólisis, entre otros [4].

De acuerdo con la velocidad de calentamiento y el tiempo total del proceso, se conocen tres tipos de pirólisis: pirólisis convencional o lenta, pirólisis rápida y pirólisis flash. La pirólisis lenta alcanza unas temperaturas entre 500 y 600 °C y tiene una duración aproximada entre 5 y 60 minutos, ello favorece que los componentes en la fase de vapor reaccionen entre sí a medida que se van formando otros productos sólidos y líquidos; de ese modo se obtienen fracciones similares de cada fase. En la

pirólisis rápida, que se utiliza principalmente para la producción de bioaceites, la biomasa alcanza temperaturas altas (650°C) en poco tiempo y, por último, en la pirólisis flash se alcanza una temperatura de 1000 °C con tiempos muy cortos y el mayor rendimiento se obtiene en los gases [13]. Desde el punto de vista físico, el biocarbón es un sólido de color negro compuesto por partículas de diferentes tamaños, con una superficie desordenada y de alta porosidad, que presenta diversas formas y tamaños de poros, lo que favorece el uso de Biocarbón como material adsorbente [14].

La Figura 3 muestra una imagen de microscopía electrónica en la que se aprecia la macroporosidad de un carbón derivado de la madera producido por pirólisis lenta.

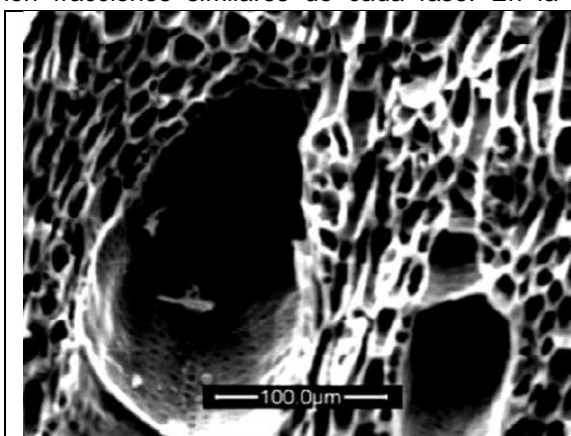


Imagen tomada con microscopio de barrido electrónico (SEM) que muestra macroporosidad de un carbón derivado de la madera producido por pirólisis lenta.

Las muestras de carbón fueron recubiertas de cromo y se obtuvieron imágenes con una energía de haz de 20 kV en un microscopio de barrido electrónico ambiental (ESEM) (Lehmann y Joseph, 2009).

Figura 3: Microscopía electrónica de Carbón Activado. Fuente Lehmann y Joseph, 2009 (C.P. Balta, 2009, p. 8) [14].

Los poros de mayor tamaño son generados por la materia prima y los de menor tamaño se deben a las condiciones de la pirólisis [15].

La porosidad del biocarbón ha originado un creciente interés por su potencial uso como medio adsorbente, de hecho, en los últimos años ha ido aumentando el número de publicaciones científicas que avalan el uso de biocarbón para purificar agua, debido en gran parte a su rentabilidad y sostenibilidad [16].

Un aspecto relevante cuando se estudia el uso del biocarbón como adsorbente en sistemas de purificación de agua, es su disposición cuando merma la capacidad purificadora debido a la carga adsorbida. En ese sentido se han encontrado diversas propuestas, a saber: disposición en un relleno sanitario, encapsulamiento para un almacenamiento seguro, uso como acondicionador de suelos y como fuente de energía en cementeras y siderúrgicas, entre otras industrias [17]. En cualquier caso, es necesario considerar la naturaleza del adsorbato, especialmente en caso de sustancias tóxicas, y la factibilidad de la reutilización.

Ahora bien, en el contexto de las tecnologías apropiadas ya mencionado que se orienta a procesos de bajo costo y ecológicamente favorables, las pirólisis realizadas en el CIDI se pueden clasificar como convencional o lenta, con un intervalo de temperaturas entre 500°C y 700 °C, y una duración aproximada de 60 minutos. Asimismo, con base en la cantidad de biomasa utilizada, se obtuvo un 23% de rendimiento en biocarbón de la parte alta del tallo de bambú y un 44% de la parte baja, no se observaron residuos líquidos.

Posteriormente, el biocarbón obtenido fue sometido a un conjunto de pruebas para conocer algunas de sus propiedades [4]. En ese orden de ideas, el presente trabajo se refiere al estudio del biocarbón del CIDI como medio para purificar agua.

V. TECNOLOGÍAS APROPIADAS

El término tecnología apropiada, denominado también alternativa, intermedia o rural [18] fue acuñado por el economista Ernst Friedrich Schumacher en el año 1973, quien fue influenciado

por Mahatma Gandhi, que tenía una propuesta de tecnologías a pequeña escala en la década de 1920 [19]. De acuerdo a la definición dada por Turner en 1972, una tecnología apropiada es “Aquella tecnología que está diseñada con especial atención a los aspectos medioambientales, éticos, culturales, sociales y económicos de la comunidad a la que se dirigen, caracterizada por demandar menos recursos, su fácil mantenimiento, su menor costo y un menor impacto sobre el medio ambiente. La tecnología verdaderamente adecuada “es la tecnología que la gente ordinaria puede usar para su propio beneficio y el de su comunidad, la que no les hace dependientes de sistemas sobre los que no tienen control” [20].

El término surge como respuesta a las limitantes de algunos instrumentos para territorios de escasos recursos por lo que se propuso usar materiales fáciles de conseguir con el fin de garantizar el mantenimiento y reparación de la herramienta creada [21]. La expresión adquirió relevancia durante la crisis del petróleo de 1973 y con el movimiento ecologista de los 70s [22]. Las principales características de una tecnología apropiada es que son de bajo costo, fácil construcción y mantenimiento, utilización de recursos locales y es amigable con el ambiente [20]. Con el uso de las tecnologías apropiadas, el ser humano ha podido crear soluciones que mejoren la vida de quienes le rodean. Cada territorio tiene sus condiciones, sus carencias y habitantes que, pensando en un beneficio común, liderarán un proceso de creación para responder a una necesidad [21].

A tal efecto, dicho proceso puede llevarse a cabo, de manera efectiva, en zanjas de barro, hornos de ladrillo, barriles y otros dispositivos sencillos y de bajo costo, con la condición que la conversión de la biomasa a pirolizar se produzca sin oxígeno presente. Dichos dispositivos se pueden catalogar como Tecnologías Apropiadas [4] Concretamente en el caso del CIDI se utilizaron tallos de bambú, trozos de madera y barriles metálicos.

En ese contexto, el CIDI, en el marco del Programa Reto País desarrollado por el Secretariado de Investigación de la Universidad Católica Andrés

Bello, llevó a cabo un proyecto que aplica una tecnología apropiada con el fin último de estudiar la posible proyección social del Bambú en el desarrollo sostenible de Venezuela.

VI. OBJETIVOS

El propósito del presente trabajo, en el marco de las tecnologías apropiadas, es estudiar la propiedad adsorbente de biocarbones de tallos de bambú y de madera, obtenidos en el proceso de pirólisis lenta efectuado en el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB, para su uso como uno de los componentes de un filtro purificador de agua de lluvia, en el contexto del proyecto ACNUR-UCAB.

VII. METODOLOGÍA

Proceso de Pirólisis:

Como se ha explicado previamente, en el marco del Programa Reto País desarrollado por el Secretariado de Investigación de la Universidad Católica Andrés Bello, y con base en las tecnologías apropiadas, el CIDI llevó a cabo un proyecto que incluyó la obtención de biocarbón a partir de las pirólisis de tallos de bambú y de madera. [23, 24]; para tal fin se construyó un quemador con los siguientes componentes y especificaciones:

- Una estructura cilíndrica metálica (tambor) de diámetro de 571 mm por 900 mm de largo. A

este dispositivo se le hicieron unas perforaciones en su parte inferior para permitir el flujo de aire (ver Figura 4).



Figura 4: Tambor externo del quemador

Fuente: Elaboración propia (2020)

- Un segundo dispositivo con una forma similar, pero más pequeño; con un diámetro de 244 mm por 500 mm de largo, aproximadamente, denominado cenicero.
 - a. Ambos cilindros contaron con aberturas en sus tapas, donde se dispusieron unos tubos para la salida del humo generado (chimeneas); cabe destacar que era necesario que el cenicero estuviese completamente cerrado (ver Figura 5).

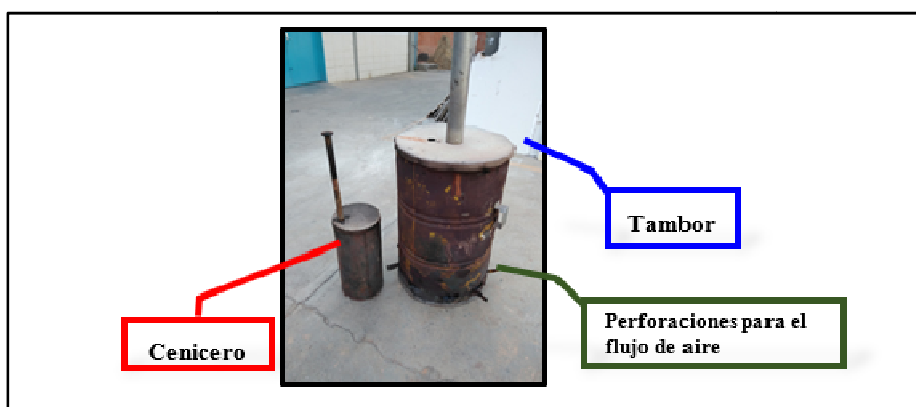


Figura 5: Cenicero y tambor con sus respectivas tapas

Fuente: Elaboración propia (2020)

MARÍA I LÓPEZ, BEATRIZ SOLEDAD, MARÍA I LÓPEZ, BEATRIZ SOLEDAD, JOHANA DELGADO, GLORIA APONTE

Ahora bien, ya que la pirólisis es un proceso que consume energía para descomponer a la biomasa, es necesario que en el sistema ocurra una reacción química que libere energía suficiente para que dicha pirólisis pueda alcanzar altas temperaturas necesarias para completar el proceso. En ese sentido, en el CIDI se aprovechó el calor de la combustión de trozos de madera como reacción exotérmica. En concreto, el quemador se dispuso de la siguiente manera:

- En el cenicero se colocó el material a pirolizar (madera o tallos de bambú) en cantidad suficiente para permitir el flujo de gas en el interior del cilindro. Una vez lleno, se le colocó la chimenea y tapa.
- En el fondo del tambor se colocaron trozos de tela de desecho y de papel impregnados de un aceite combustible. La yesca servirá para el inicio de la combustión.
- Sobre la yesca, por encima de las perforaciones del tambor, se colocó una rejilla metálica y, sobre ella, el cenicero lleno (ver Figura 6).



Figura 6: Vista superior del cenicero lleno en el tambor.

Fuente: Elaboración propia (2020)

- La madera que reaccionó para generar calor (madera externa) se colocó alrededor del cenicero. Se ajustó su colocación en el tambor y la separación del suelo, para favorecer el posterior flujo de aire.
- Se encendió la yesca a través de las perforaciones inferiores, y ésto, a su vez, permitió el aumento de temperatura de la madera externa y su combustión completa. Dicha combustión le suministró calor al material a pirolizar para que se produjera el biocarbón.
- La pirólisis tuvo una duración aproximada de 60 minutos y la temperatura alcanzó entre 500 – 700 °C
- En la Figura 7 se observa la salida de vapor de la pirólisis y del gas producido en la combustión de la madera externa.

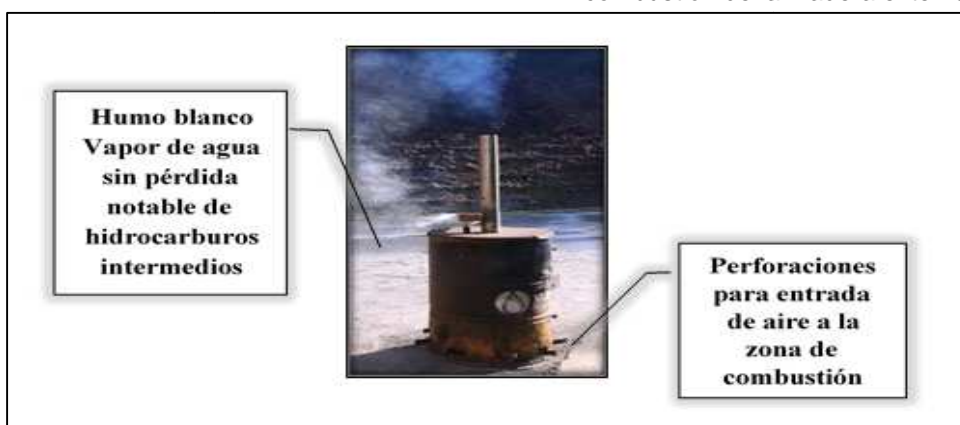


Figura 7: Salida de vapor de la pirólisis.

Fuente: Elaboración propia (2020)

- Una vez culminada la pirólisis, se dejó el sistema, sin abrir, durante unas 24 horas para que estableciera un equilibrio térmico con el ambiente.
- Por último, se destapó el quemador, se extrajo el cenicero a temperatura ambiente y se abrió para sacar el biocarbón producido.

Al biocarbón obtenido en el proceso de pirólisis se le realizaron varias pruebas con la finalidad de caracterizarlo, entre ellas, se estudió la adsorción de azul de metileno para identificar si puede ser utilizado en la purificación de agua y se hizo una prueba piloto en el filtro purificador. Todo ello como pasos previos para los fines del proyecto UCAB- ACNUR referido en la introducción del presente trabajo.

Filtro para purificar agua

Como parte del sistema de purificación de agua que desarrolló el CIDI, se realizó un filtro de capas tal y como se describe a continuación:

Se rellenó el dispositivo con los diferentes materiales según las siguientes dimensiones: grava 1: altura 5 cm, arena 1: altura 4 cm, biocarbón (250 g): altura 3 cm, arena 2: altura 4 cm, grava 2: altura 6 cm. Es importante mencionar que las cantidades a agregar de los diferentes materiales dependerán del tamaño y dimensiones del filtro; sin embargo, las medidas anteriormente señaladas, corresponden a las usadas para el filtro piloto usado como referencia por los investigadores, el cual tiene una longitud total de 34 cm y un diámetro de 28,5 cm. En cualquier caso, se debe dejar un espacio libre en la parte superior del filtro, que, para el filtro usado como referencia, fue de 12 cm. En la Figura 8 se muestra una imagen de referencia del filtro.

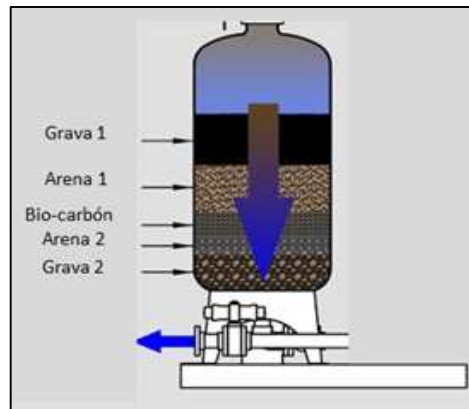


Figura 8: Figura ilustrativa del prototipo del filtro con sus diferentes componentes

Fuente: Elaboración propia (2020)

Prueba de adsorción con azul de metileno

Para comenzar este apartado es pertinente referirse brevemente a la Ley de Lambert - Beer

Se conoce que cuando un haz de luz monocromática incide sobre un medio absorbente, en este caso una solución de azul de metileno, solo se transmite una fracción de dicha radiación, ya que existe un fenómeno de absorción debido a la naturaleza química del soluto y a la longitud de onda de la radiación.

A la fracción de radiación que pasa a través de la muestra se le denomina transmitancia (T) y toma valores de 0 a 1 de acuerdo con la fracción de radiación que logra pasar a través de la muestra estudiada. La absorbancia, que se relaciona con la fracción de radiación que no pasa por la muestra, se define como $A = -\log_{10}(T)$. Es así que a mayor absorbancia habrá menor transmitancia.

Es así que un valor de transmitancia = 0 indica que la radiación fue totalmente absorbida por la muestra y si $T = 1$, la radiación pasó completamente y la muestra no absorbió fracción alguna.

En ese orden de ideas, la Ley de Lambert-Beer estudia la relación entre dicha absorbancia y la concentración de soluto en la muestra a temperatura

constante, de acuerdo con la expresión $A = \epsilon bc$, donde ϵ se denomina absorptividad y depende de las características del soluto para cada longitud de onda, b es el ancho de la celda por donde pasa la radiación, generalmente 1 cm, y c es la concentración de la solución.

En consecuencia, cuando se estudia la absorbancia de un soluto dado, en este caso el azul de metileno en solución acuosa, a diversas concentraciones, manteniendo constante la temperatura, la longitud de onda aplicada y el ancho de la celda, la relación A vs. c es una línea recta cuya pendiente es el producto ϵb . [25].

Cabe agregar que la prueba de adsorción de azul de metileno antes referida, se realizó en el Laboratorio de Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello, utilizando un espectrofotómetro de haz único Spectronic 20, mediante los siguientes pasos:

a.- Curva de absorbancia en función de la longitud de onda del azul de metileno: Se efectuó una curva de absorbancia en función de la longitud de onda con una solución acuosa del colorante azul de metileno.

b.- Evaluación de adsorción del biocarbón obtenido en la pirólisis: Este proceso lleva, a su vez, dos etapas, a saber, realizar la curva de calibración Absorbancia Vs. concentración de azul de metileno y la posterior medición de las muestras tratadas con carbón activado. Ambos se explican a continuación

- Para la curva de calibración: en un matraz aforado se prepararon 100 ml de una solución de Azul de Metileno con una concentración de 100 mg/l. A partir de dicha solución patrón se prepararon soluciones de 1, 2, 3 y 4 mg/L. a cada una se le determinó su absorbancia para la curva de calibración.
- Para el estudio con biocarbón: se emplearon cartuchos plásticos de 5 ml, a los cuales se les colocó papel de filtro en el extremo

inferior como se observa en la Figura 9, y se agregó 0.4 gramos de Biocarbón en cada cartucho (el experimento se hizo por triplicado).

- Se tomaron 10 ml de la solución de concentración 4 mg/L de azul de metileno preparado con agua destilada y se pasaron a través del cartucho conteniendo Biocarbón obtenido de la pirólisis.
- Se midió la absorbancia de la solución resultante y se comparó con la absorbancia de la solución inicial.
- La diferencia es proporcional a la cantidad de azul de metileno adsorbida por el biocarbón.

Las gráficas y tablas se presentan en el apartado de resultados y discusión.

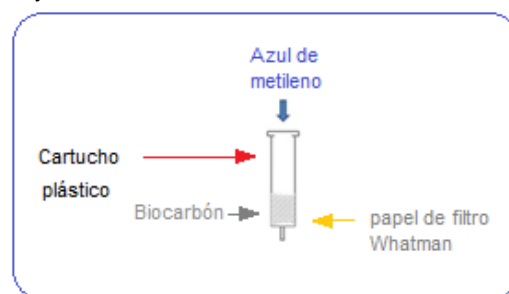


Figura 9: Equipo de Extracción en Fase Sólida para la evaluación del biocarbón obtenido de la pirólisis.

Fuente: Elaboración propia (2020)

VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Prueba de adsorción con azul de metileno:

- a) Curva de Absorbancia en función de la longitud de onda del azul de metileno

A continuación, se presenta la curva de absorbancia en función de la longitud de onda para determinar la λ de máxima absorbancia (Figura 10). Encontrándose que el valor de la longitud de onda máxima experimental fue 660 nm, por lo cual todos los análisis se hicieron a esta longitud de onda.

MARÍA I LÓPEZ, BEATRIZ SOLEDAD, MARÍA I LÓPEZ, BEATRIZ SOLEDAD, JOHANA DELGADO, GLORIA APONTE

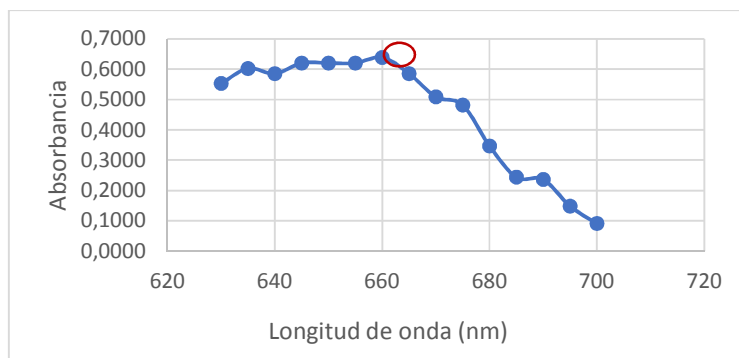


Figura 10: Curva de absorbancia en función de la longitud de onda
Fuente: Elaboración propia (2020)

Este valor es consistente con el hallado en la literatura ya que el valor reportado para la longitud de absorción máxima a 664 nm [26, 27]

De acuerdo con el procedimiento experimental se prepararon soluciones acuosas de 1, 2, 3, 4, mg/L. de azul de metileno, a cada una se le determinó su absorbancia para la curva de calibración. Los resultados se muestran en la Tabla I.

b) Curva de absorbancia en función de la concentración

Tabla I: Curva de calibración de soluciones acuosas de azul de metileno

Concentración (ppm)	1	2	3	4
% Transmisión	65	49	37	27
Absorbancia	0,1879	0,3098	0,4318	0,5686

Fuente: Elaboración propia (2020)

A continuación, en la Figura 11 se presenta la gráfica de la recta de calibración y la ecuación de la misma

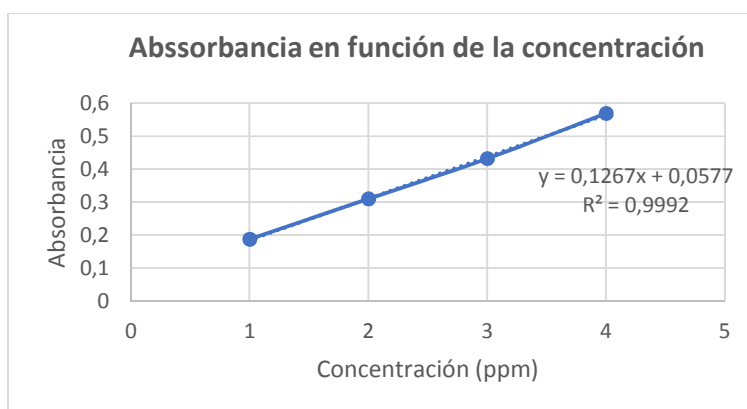


Figura 11: Recta de calibración
Fuente: Elaboración propia (2020)

Los resultados obtenidos para la curva de calibración de acuerdo a las soluciones preparadas y descritas en el procedimiento experimental dieron como resultado una recta con ecuación:

$$y = 0,1267x + 0,0577 \text{ y coeficiente de determinación de } R^2 = 0,9992$$

c) Evaluación de la adsorción del biocarbón de bambú

A continuación, se presenta el porcentaje de azul de metileno retenido en cada muestra de biocarbón evaluada por el método de extracción en fase sólida.

Tabla II: Evaluación de adsorción del biocarbón de bambú y de madera

Compuesto	Gramos de Biocarbón	% T1	% T2	% T3	% T promedio	Absorbancia Promedio	Concentración promedio (ppm)	% de Azul de metileno retenido
Biocarbón obtenido de la pirólisis del bambú	0,4	69	89	72	76,7	0,115	0,455	88,6
Biocarbón obtenido de la pirólisis de la madera	0,4	81	83	93	85,67	0,067	0,074	85,7

% T= Porcentaje de transmitancia

Fuente: Elaboración propia (2020)

Los resultados evidencian que el biocarbón obtenido en el CIDI mediante una pirólisis lenta en un intervalo de temperaturas de 450°C a 700 °C, tiene una alta capacidad de adsorción del azul de metileno ya que retienen, en promedio, un 88,6% de dicho colorante. Este resultado es similar para la pirólisis de tallos de bambú y de trozos de madera.

IX. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que los biocarbones obtenidos en el CIDI por medio de la pirólisis lenta a altas temperaturas, tanto de tallos de bambú como de madera, tienen un alto grado de capacidad adsorbente que se evidencia en el porcentaje de azul de metileno retenido, cercano al

87% por lo que se consideran aptos para ser utilizados en filtros para purificar agua como sustitutos de carbón activado.

Si bien estas evidencias no son suficientes para referirnos, de manera técnica, a un biocarbón activado, si nos permiten avalar su uso como agente adsorbente para la purificación de agua como actividad previa a procesos de potabilización.

Se sugiere realizar estudios sobre pruebas alternas como número de lodo, isoterma de adsorción y de área superficial del Biocarbón del CIDI, así como estudios de activación química con sustancias ácidas y básicas de bajo costo que estén fácilmente disponibles para las comunidades de interés.

REFERENCIAS

- [1] Humma, (2019). Cómo funciona el carbón activado purificadores. Recuperado de: <https://humma.com.ar/como-funciona-el-carbon-activado/>
- [2] Bayona, C., López, T y Benites, E. (2020) "Purificación del agua de consumo comunitario con carbón activado de cáscara de nogal (*Juglans regia* L.) en Tambillos - Pomabamba, Ancash, 2020" Tesis para obtener el título profesional de: Ingeniera ambiental. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/53896/Bayona_GCBV-Lopez_VTG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [3] Vidal, M., Rodríguez, A., Martínez, K. Ocampo, J y Barrios, W. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. Scientia et Technica. 23 (3). Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6760221>
- [4] López, M; Soledad, B.; Echezuria, H y Delgado, J. (2020). Evaluación de las características físicas del biocarbón obtenido por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB. Tekhne. 23 (2): pp. 42-51.
- [5] UNAM. México. (s/f) Departamento de Físicoquímica de la UNAM. México. UNIDAD 3. FENÓMENOS DE SUPERFICIE. ADSORCIÓN. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3Adsorcion_19664.pdf
- [6] Bricio, E. (2010). Síntesis y caracterización de carbón activado a partir de bagazo de tequila Azul Weber. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/281155060>
- [7] González N., Bárbara D. (2017). Desarrollo de Carbón Activado a Partir de Desechos Agroindustriales con Aplicación en Adsorción de Arsénico. Resumen de la Memoria para optar al Título de: Ingeniera Civil Química e Ingeniera Civil en Biotecnología. Universidad de Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/147405>
- [8] Marín, J., Granadillo, LL., Carro, J., Estado actual y tendencias de la industria del carbón activado, Biomundi Consultoría, Cuba, 1998
- [9] Sakintuna, B y Yürüm, Y. (2005). Templated Porous Carbons: A Review Article. Ind. Eng. Chem. Res., 44 (9): 2893–2902
- [10] Robles, S.; Silva, R.; García, R.; Ramos, C.; Carrizales, G.; Sandoval, G.; Castillo, A. (2006) Carbón activado modificado como soporte para catalizadores prototipo de HDS. Revista Mexicana de Ingeniería Química 5 (3):279 - 284.
- [11] Balta, R. (2019). El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (*solanum lycopersicum* L.) bajo el invernadero. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3874>
- [12] Andrade, D. (2016). Producción de Carbón Activado a Partir de la Caña Guadua (*Guadua Angustifolia* K.) Mediante Activación Química con Hidróxido de Potasio. Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniero Químico. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/13009/1/C-D-6687.pdf>

- [13] Baray-Guerrero, M., Porras-Flores, D. Hoffmann-Esteves, H., y Manjarrez-Domínguez, C. (2019). Tratamiento de la biomasa lignocelulósica mediante la pirolisis lenta y a baja temperatura para la producción de biocombustibles. *Revista de Energías Renovables*. 3 (9): 1-9. Recuperado de https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/V3_N9_1.pdf
- [14] Lehmann, J. y Joseph, S. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London & Sterling, VA. 416 pp. 2015.
- [15] Moreno, M., y Jakob, S., (2012) El Aprovechamiento del Bambú para impulsar el desarrollo económico sustentable en México, *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, Vol.37.
- [16] Choudhary M, Kumar R, Neogi S. (2020) Activated biochar derived from *Opuntia ficus-indica* for the efficient adsorption of malachite green dye, Cu^{+2} and Ni^{+2} from water. *J Hazard Mater*. Jun 15(392):122441. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122441.
- [17] Présiga-López, D., Rubio-Clemente, A., Pérez, J. (2021). "Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas," *Rev. UIS Ingenierías*, 20 (1): 121-134, doi: 10.18273/revuin.v20n1-2021011
- [18] De la Fuente, R. (2017). *Manual de Tecnologías apropiadas para el desarrollo rural sustentable*. Foro para el Desarrollo Sustentable. Recuperado de: <https://silo.tips/download/manual-tecnologias-apropiadas-para-el-desarrollo-rural-sustentable-fogon-ahorrad>
- [19] Urrutia del Campo, N. (2010). Los dos hemisferios. Recuperado de <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n46/n46-anurr.pdf>
- [20] Belcred, G.; Davoine, F.; Ojeda, M; García, G.; Pigola, P; Seoane, M. (2011). *Tecnologías apropiadas: ¿construcción social o sólo otro tipo de determinismo tecnológico?* IX Congreso Iberoamericano de Extensión Universitaria. 22 al 25 de noviembre, Santa Fe, Argentina. Recuperado de <https://www.unl.edu.ar/iberoextension/dvd/archivos/ponecias/mesa1/tecnologias-apropiadas-const.pdf>
- [21] Portal Educativo de Antioquia. *Tecnologías apropiadas* (s/f). Recuperado de: <https://www.antioquiatic.edu.co/noticias-general/item/48-sabes-que-son-las-tecnologias-apropiadas>
- [22] Muñiz, R. (2018). Las Tecnologías Apropriadas ¿Un Cambio de Paradigma o una Utopía? *Tekhné*, 21 (1), 078-087. Recuperado de: <http://oaji.net/articles/2019/7118-1556541946.pdf>
- [23] López, M., Soledad, B., Echezuria, H., Muñiz R., Delgado, J (2019). Estudio de la obtención y características del biocarbón a partir de biomasa vegetal, como recurso para la agricultura sustentable. Informe final proyecto Reto-País. Universidad Católica Andrés Bello. Documento no publicado.
- [24] Echezuria, H.; López, M.I.; Soledad, B.; Aponte, G. y Delgado, J. (2020). Proyecto ACNUR-UCAB. Fomento del empoderamiento, de la participación y del alcance comunitarios, y disminución del riesgo de apatridia en Distrito Capital. Venezuela. Documento no publicado.
- [25] Sierra, I; Gómez, A.; Pérez, D; Morante, S; Análisis Instrumental. Netbiblo, S.L. La Coruña. España, 2010.
- [26] Del Álamo, J. (2013). *Preparación y síntesis de materiales Adsorbentes para la eliminación de Contaminantes en efluentes acuosos*. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.
- [27] Muñoz, A., Adame, R., Limón, P y Sandoval, I (2016). Determinación del valor de sorción de azul de metileno para fillers mediante la técnica de espectrofotometría visible. *Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles RIOC Volumen 6: 16-21*.