

Identificación de métodos de activación para carbón activado obtenido de bambú

Identification of Activation Methods for Bamboo-Derived Activated Carb

CLAUDIA VERÓNICA ORTEZ MORÁN

Máster en Gestión Integrada

Docente-investigadora, Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de El Salvador, El Salvador

Email: claudia.ortez@catolica.edu.sv

ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6270-9064

Fecha de recepción: 20-11-2024

Fecha de aceptación: 14-02-2025

Resumen

El carbón activado es un material adsorbente con múltiples aplicaciones. El bambú es un recurso natural que puede aprovecharse para la elaboración de carbón activado.

El objetivo principal de esta investigación fue identificar los métodos de activación del carbón activado obtenido de bambú, así como sus ventajas y desventajas, con el propósito de compararlos. El estudio se llevó a cabo mediante una investigación documental cualitativa. Para la obtención de información se utilizó un instrumento de exploración y se aplicó la técnica de revisión bibliográfica en repositorios académicos, empleando una ficha de registro para recopilar la información. Se consultaron documentos como trabajos de graduación, artículos de investigación en revistas científicas, entre otros.

Se identificaron dos métodos para la activación del carbón obtenido de bambú: el método físico, también llamado térmico, y el método químico.

- **Método físico:** Se realiza aplicando vapor de agua o dióxido de carbono, entre otros gases, para activar el carbón.

- **Método químico:** Requiere el uso de reactivos químicos como cloruro de zinc, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido nítrico e hidróxido de potasio, entre otros. La activación química presenta la desventaja de la disposición final de los residuos generados e, incluso, si no se realiza cuidadosamente, podrían quedar residuos del producto químico en el carbón activado.

La selección del método de activación del carbón obtenido de bambú puede depender de la variedad de bambú utilizada, ya que algunas variedades desarrollan mayor área superficial disponible para la adsorción de partículas. También influye el uso que se dará al carbón activado y los recursos disponibles para realizar la activación, entre otros factores.

Palabras clave: Carbón, bambú, análisis comparativo, proceso.

Abstract

Activated carbon is an adsorbent material with multiple applications. Bamboo is a natural resource that can be utilized for the production of activated carbon.

The main objective of this research was to identify the activation methods for activated carbon obtained from bamboo, as well as their advantages and disadvantages, with the purpose of comparing them. The study was conducted through qualitative documentary research. For data collection, an exploration instrument was used, and the bibliographic review technique was applied in academic repositories, employing a registration form to compile the information. Documents consulted included graduation theses, research articles in scientific journals, among others.

Two methods were identified for the activation of bamboo-derived carbon: the physical method, also called thermal, and the chemical method.

- **Physical method:** Activation is carried out by applying steam or carbon dioxide, among other gases.

- **Chemical method:** This method requires the use of chemical reagents such as zinc chloride, phosphoric acid, sulfuric acid, nitric acid, and potassium hydroxide, among others. A disadvantage of chemical activation is the disposal of the generated residues; if not carefully performed, chemical residues may remain in the activated carbon

The selection of the activation method for bamboo-derived carbon may depend on the bamboo variety used, as some varieties develop a larger surface area available for particle adsorption. Other factors include the intended use of the activated carbon and the resources available to carry out the activation, among others.

Keywords: Carbon, bamboo, comparative analysis, process.

1. Introducción

Las actividades antrópicas y los procesos industriales son consideradas las principales fuentes emisoras de residuos sólidos. El manejo inadecuado y la falta de aprovechamiento de estos residuos, especialmente los agrícolas, han ejercido un impacto ambiental negativo significativo sobre los recursos naturales, afectando principalmente a las corrientes hídricas por contaminación. En este contexto, el carbón activado surge como una solución potencial a los impactos ambientales, a partir del aprovechamiento de residuos orgánicos, especialmente agrícolas, como precursores para su obtención (López, 2020, p. 1).

La activación del carbón vegetal consiste en transformar la materia orgánica para generar carbón activado, caracterizado por su alta eficiencia en la adsorción de gases y líquidos, decoloración de vinos, desodorización y otras aplicaciones. La carbonización de la materia prima requiere descomposición fisicoquímica mediante calor en ausencia de un medio oxidante (Ortiz, 2019, p. 34).

El término carbón activado se aplica a carbonos porosos que han sido sometidos a procesos de activación para desarrollar un elevado grado de porosidad y alta superficie interna, características que explican sus propiedades adsorbentes. El tamaño y la distribución de los poros pueden controlarse variando condiciones de activación como la temperatura, el tiempo y el agente activante, adaptándose a las necesidades tecnológicas actuales y futuras.

La elección del precursor depende principalmente de su disponibilidad, precio y pureza, considerando también el proceso de fabricación y la aplicación final del producto. Los procesos de activación se dividen en dos tipos: física (térmica) y química (Velásquez-Trujillo, 2010, pp. 359-360).

- **Activación física:** Se basa en la pirólisis de la materia prima, eliminando humedad y compuestos volátiles en un reactor a temperatura controlada bajo atmósfera inerte. Las variables pirolíticas, como temperatura, tipo de reactor, velocidad de calentamiento y composición de

la alimentación, influyen significativamente en las propiedades del carbón activado (Mishra, Singh, Acharya, 2024, p. 3).

- **Activación química:** Implica la impregnación de la materia prima con agentes químicos (ácido fosfórico, cloruro de zinc, ácido sulfúrico, entre otros) seguida de descomposición térmica en horno y lavado profundo del carbón para eliminar residuos. La principal desventaja de este método es el riesgo ambiental que representan los reactivos utilizados.

La activación física, por su parte, consiste en la carbonización y posterior activación de los compuestos carbonados, seleccionando aquellos que permitan obtener rendimientos económicamente viables, considerando las mermas de peso debidas a la eliminación de componentes volátiles durante la carbonización y activación (Varriano, 2013, p. 3).

El objetivo de esta investigación fue identificar los métodos de activación del carbón activado obtenido del bambú, describir sus características, ventajas y desventajas, y seleccionar teóricamente aquellos viables de aplicar en laboratorio en la Universidad Católica de El Salvador. La pregunta de investigación fue: ¿Cuáles son los métodos para la activación del carbón activado obtenido de bambú?

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo documental, aplicando la técnica de revisión bibliográfica en repositorios académicos y utilizando una ficha de registro para compilar la información. Se consultaron un total de 31 documentos: 24 artículos científicos y siete trabajos de graduación. La información obtenida permitió el análisis, interpretación y desarrollo de conclusiones sobre los métodos de activación más adecuados para el carbón activado de bambú disponible en El Salvador.

2. Desarrollo

Inicialmente es necesario mencionar que de acuerdo a Prías (2015), la producción de carbón depende, entre otros aspectos, de la disponibilidad, la calidad y los costos de la

materia prima, parámetros que de acuerdo a las propiedades intrínsecas del precursor determinan las propiedades físicas y químicas del carbón resultante (p. 445).

Ortiz (2019), establece que el carbón activado es un elemento que se produce por medio de la carbonización de distintos tipos de madera o vegetales, que luego son molidos hasta que se obtenga el tamaño deseado y finalmente activados mediante procesos con altas temperaturas. La gran capacidad de remoción de sustancias que contienen carbono se debe a su alta porosidad y superficie interna, que juegan un papel fundamental. El volumen de poros y la distribución de tamaño de los mismos son los aspectos más importantes para caracterizar un carbón activado, ya que estos parámetros van a dar directamente la cantidad de adsorción que se puede retener según el diámetro de las moléculas en relación a los poros (pp. 30-31).

Según Filippín, *et al.*, (2017), la estructura porosa interna de los carbones activados les confiere aptitud de su empleo en procesos de adsorción por la característica especial de tener una gran capacidad de adsorción basada en sus características de superficie específica y de tamaño de poro, basada en sus características de superficie específica y de tamaño de poro (p. 60).

Vera-Reza, *et al.*, (2018) mencionan 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 (p. 125).

Filippín, *et al.*, (2017) indican que la literatura existente relaciona el elevado contenido de lignina en los precursores de los carbones activados con la distribución en los mismos de meso y macroporosidad (p. 68).

Gayathiri, Pulingam, Lee y Sudesh (2022), mencionan que, aunque los residuos de biomasa tienen varias propiedades que contribuyen a producir carbón activado con características eficientes, las diferencias en la composición química de la biomasa lignocelulósica y los diversos procesos de producción siguen siendo un obstáculo para la producción a escala industrial. Esto se debe a que se sabe que el método de preparación y la composición química de la biomasa afectan las características de adsorción del carbón activado sintetizado como el tamaño de los poros, volumen total de poros, área de superficie y rendimiento.

Según Velázquez-Trujillo (2010), las variedades de bambú utilizadas como precursores para la elaboración de carbón activado, poseen diferentes propiedades tales como % de cenizas, % de materia volátil y % de carbono fijo, las cuales influirán en el área superficial y en las porosidades del carbón activado. Por ejemplo, el contenido de materia volátil hace que el bambú desarrolle una mayor porosidad mediante una adecuada activación, en la cual se generan los espacios vacíos utilizables para adsorber moléculas de menor tamaño que los poros (p. 361).

Según Zhang, Luo, Zhao, Shen, Cui, Shi y Han (2024), la activación es un método eficaz para producir carbón activado con una estructura de poros bien desarrollada y la temperatura de activación química suele ser más baja que la de la activación física. Sin embargo, los obstáculos de los activadores químicos generales de KOH, NaOH, ZnCl₂, H₃PO₄, etc., incluyen una corrosión severa de los instrumentos y una alta toxicidad, lo que eventualmente limita su amplia aplicación. Recientemente, se ha prestado más atención a los activadores químicos rentables y respetuosos con el medio ambiente, como el FeCl₃. Debido al radio iónico más pequeño del Fe³⁺, es beneficioso para la preparación de carbón activado con microporos.

Métodos para activación de carbón activado

Según Vidal *et al.* (2018), la naturaleza del material precursor de carbono, así como los métodos de síntesis y las condiciones de operación durante la activación, son factores fundamentales que determinan las características químicas y la estructura interna de los poros del carbón activado. Los métodos de preparación influyen directamente en la textura del material (p. 412).

A nivel comercial, el carbón activado se fabrica a partir de materiales orgánicos ricos en carbono, como carbón mineral, madera, huesos o cáscaras de frutas (coco, nuez, maní, entre otras). Los procesos de fabricación se dividen en dos tipos principales: activación física o térmica y activación química (Cubillos, 2019, p. 35).

El proceso de calentar materiales orgánicos en ausencia de aire se denomina **carbonización o pirólisis**. El término pirólisis se usa generalmente cuando el procedimiento está orientado a obtener gases y aceites derivados del calor, mientras que carbonización se refiere al producto sólido carbonizado resultante. Durante la pirólisis se crea la estructura básica del carbonizado, consolidada a temperaturas entre 500 y 850 °C, generando una masa de carbono con una estructura porosa rudimentaria, donde muchos poros finos permanecen cerrados (Ortiz, 2019, p. 33).

Simultáneamente, en la carbonización ocurre un encogimiento volumétrico de las partículas. La capacidad de adsorción del material carbonizado es inicialmente baja, debido a que la estructura porosa está parcialmente ocupada por alquitranes condensados. Durante la pirólisis se elimina casi todo el oxígeno e hidrógeno de la materia orgánica, y el carbono residual se cristaliza en formas irregulares; la desintegración del alquitrán llena parte de los poros, disminuyendo la capacidad del adsorbente. El objetivo final de la activación es liberar estos poros y generar una superficie altamente porosa, aumentando así la eficiencia de adsorción.

La activación del carbón convierte al material en un adsorbente versátil, capaz de adherir contaminantes

a sus paredes. Además, el tamaño y la distribución de los poros pueden controlarse según la aplicación tecnológica prevista (FUSADES, 2021, p. 2).

Independientemente del precursor utilizado, los procesos de activación se dividen en:

- **Activación física o térmica:** el material se somete a altas temperaturas para desarrollar la porosidad.
- **Activación química:** el precursor se impregna con agentes químicos, que deshidratan el material y promueven la formación de poros; este proceso se realiza a temperaturas generalmente más bajas que la activación física.

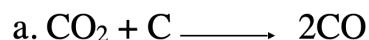
Activación por el método físico

La activación física inicia con el material carbonizado o material primario, que luego de ser molido es caracterizado con el fin de obtener tamaños uniformes para posteriormente ser activado. Los gases más utilizados son el vapor de agua, el oxígeno y el dióxido de carbono, así como también gases de cloro, azufre, amonio y otras sustancias que poseen grandes efectos de activación. Durante la activación física se crea una pérdida en la sustancia llegando a ser considerable, y se produce un aumento de la porosidad y la superficie interior. Por esta razón, la activación se da bajo condiciones oxidantes, selectivas o controladas (Ortiz, 2019, p. 36).

Según Vejarano (2021), la activación física puede ser un proceso totalmente independiente de la carbonización o llevarse a cabo posterior a esta. El cual consiste en hacer reaccionar al agente activante con los átomos de carbono del carbonizado que está siendo activado, de forma que se produce un “quemado selectivo” que va horadado progresivamente al carbonizado, generando poros y aumentando la porosidad hasta transformarlo en un carbón activado. Los agentes activantes dan lugar a reacciones químicas donde se eliminan átomos de carbono produciendo así la porosidad (p.19).

De acuerdo con Raut, Bedmohata y Chaudhari (2023), este método ayuda a formar nuevos grupos funcionales que mejoran las propiedades de

adsorción del carbón. Estos agentes gasificantes extraen carbono de la red de carbono poroso dada en las siguientes reacciones:



A partir de los resultados, observaron que a mayor temperatura de activación se obtiene un menor rendimiento del producto. Significa que el rendimiento del producto es inversamente proporcional a la temperatura de activación.

Activación por el método químico

El **proceso de activación química** se realiza directamente sobre la materia prima, a diferencia de la activación física, que requiere una carbonización previa. Los procesos químicos se obtienen mediante impregnación con sustancias deshidratantes, como cloruro de zinc (ZnCl_2), ácido fosfórico (H_3PO_4), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido bórico (H_3BO_3), ácido nítrico (HNO_3), sulfuro de potasio (K_2S), sulfato de magnesio (MgSO_4), sodio y otros compuestos. El procedimiento continúa mezclando estos activantes con la materia prima, considerando un tiempo de reacción adecuado antes de la carbonización. Durante esta fase se generan gases oxidantes que degradan las moléculas orgánicas por deshidratación, restringiendo la formación de brea (Ortiz, 2019, p. 36).

Los agentes deshidratantes y oxidantes reducen al mínimo la formación de brea. En particular, el cloruro de zinc y el ácido fosfórico permiten que el hidrógeno se combine con el oxígeno celular para formar agua, la cual es eliminada. Esto deja que la mayor parte del alquitran se transforme en compuestos de carbono, liberando así los poros del carbón activado. Este método químico proporciona resultados óptimos, ya que produce un **área superficial considerablemente mayor** que la obtenida mediante activación física con vapor (Sánchez, 2018, p. 29). Neme, Gonfa y Masi (2022) concluyeron que el agente químico

activador es el principal factor que determina la eficiencia y pertinencia del carbón activado a partir de biomasa. Señalan que el ácido fosfórico (H_3PO_4) es especialmente efectivo para activar biomassas lignocelulósicas, como cáscaras, hojas y pastos, utilizadas como adsorbentes. Según su revisión, el rendimiento, el área superficial, la porosidad y los grupos funcionales superficiales del carbón activado dependen en gran medida de la temperatura de activación, el tiempo de activación y la relación ácido-precursor.

Por su parte, Quan, Miskolczi, Feng, Grammelis, Wu y Gao (2023) evaluaron activadores químicos como H_3PO_4 , ZnCl_2 y KOH. Encontraron que el hidróxido de potasio (KOH) generó carbón activado con **mayor área superficial y mayor volumen de poro**, aumentando así su capacidad de adsorción. Sin embargo, el ácido fosfórico se considera menos contaminante y suele preferirse para la producción de carbón activado a gran escala.

Lamaming *et al.* (2022) mencionan que, en comparación con la activación física, la química suele generar **mayor rendimiento de carbono y una mejor estructura de poros**. Destacan que las condiciones de carbonización y activación, como tiempo, temperatura y pH, afectan directamente el rendimiento final de los adsorbentes. Además, concluyen que la activación a alta temperatura, cercana a 800 °C, mejora la superficie del carbón activado obtenido de bambú.

Comparación de métodos de activación física y química para materiales carbonosos

Yi, Koji, Yoon y Jin (2022) mencionan que los métodos de activación física convencionales que utilizan CO_2 a presión atmosférica o vapor no pueden producir fácilmente carbón activado con una gran cantidad de microporos de 1.6 nm. Por el contrario, la activación química utilizando KOH o NaOH como agente de activación puede introducir una gran cantidad de microporos y mesoporos; sin embargo, el paso de postratamiento requerido del equipo anticorrosión y lavado con ácido aumenta los costos de producción (p. 2559).

En la Tabla 1 se muestran algunas de las ventajas y desventajas que presentan los métodos para la activación de materiales carbonosos; se observan mejores características en la activación química en comparación con la activación física; el rendimiento de carbono suele ser mayor con estructuras de poros mejor desarrolladas, además, se requiere una temperatura de activación más baja que en el proceso de activación física. Sin embargo, el único inconveniente en la producción de estos materiales por el proceso de activación química son sus costos elevados; por lo cual al ser utilizado surge la necesidad de buscar precursores más económicos y fáciles de adquirir (García-Guel, Múzquiz-Ramos y Ríos-Hurtado, 2019).

Al comparar ambos métodos de activación para preparar carbón activado de bambú, son evidentes las diferencias que existen entre ellos, especialmente

en lo que a costos y tiempo de duración de todo el proceso se refiere. Como se mencionó anteriormente, los tipos y la disponibilidad de los precursores utilizados para la elaboración del carbón activado, son unos de los criterios importantes en la selección del método de activación a emplear.

De acuerdo con Vidal, *et al.*, (2018), aunque las condiciones de procesamiento del carbón activado pueden tener cierta influencia en la estructura y propiedades del producto final, estas estarán principalmente determinadas por la naturaleza del material precursor y su rápida reacción frente a mecanismos de activación (p. 412).

En la Figura 1 se muestra la comparación entre los dos procedimientos que se utilizan para la activación de carbón.

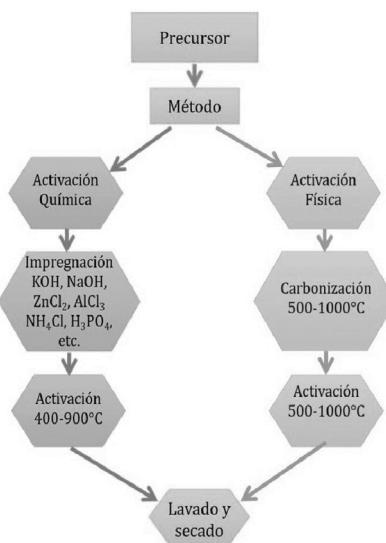
Tabla1

Ventajas y desventajas de métodos de activación para materiales carbonosos

Método	Ventajas	Vent Desventajas ajas
Activación física	Bajo costo Proporciona altos rendimientos	Requiere mayor temperatura (800 – 1000 °C) Requiere mayor tiempo de activación. Mayor costo
Activación Química	Se desarrolla a temperaturas de activación más bajas (400 – 800 °C)	Es necesario un lavado exhaustivo del carbonizado resultante para eliminar los residuos de los activantes.

Fuente. García-Guel, Y., Múzquiz-Ramos, E., y Ríos-Hurtado, J., (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 22(32), 1-16. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.182>

Figura 1
Comparación de métodos de activación para elaborar carbón activa



Fuente: García-Guel, Y., Múzquiz-Ramos, E., y Ríos-Hurtado, J. (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 22(32), 1-16. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.182>

Yang, Y., Tao, L., Yanyuan, H., y Haoran (2023) mencionan que, si bien los principales métodos de activación incluyen procesos físicos y químicos, a menudo provocan daños ambientales, corrosión grave de los equipos, uso extensivo de activadores, mala economía y producen en gran medida carbones activados mesoporosos y macroporosos, con relativamente pocos microporos. Por lo tanto, existe una necesidad apremiante de un método de activación rentable, respetuoso con el medio ambiente y recicitable. Los líquidos iónicos, como nueva clase de reactivos ecológicos, han tenido una aplicación generalizada en la industria química, pero su potencial en el campo de la activación sigue en gran medida inexplorado (p. 22750).

En comparación con el carbón activado preparado mediante métodos físicos o químicos, el carbón activado iónico presenta una superficie más densa con menos mesoporos, pero mayor volumen y cantidad de microporos. Internamente también se

encuentran estructuras microporosas adicionales. Esto da como resultado una superficie específica más grande y un rendimiento de adsorción superior, particularmente hacia sustancias gaseosas o líquidas de pequeño peso molecular (Yang, Y., Tao, L., Yanyuan, H., y Haoran, 2023, p. 22753).

De acuerdo con Chew *et al.* (2023), la activación física produce carbón activado con una estructura de partículas menos homogénea, mientras que la activación química genera una estructura con una superficie amplia y una variación claramente definida del diámetro de los poros.

En la investigación realizada por Daza, Orrego, Piñeres y Fernández (2018), se detectó que, tanto para la activación física como para la química, el rendimiento disminuye a medida que aumentan la temperatura y el tiempo de activación. Los rendimientos obtenidos para la activación física con vapor de agua se encuentran entre 55% y 59%; en cambio, los carbones activados químicamente con cloruro de zinc presentan un mejor rendimiento, en un rango del 61% al 75%. Al comparar cada activación de manera independiente, a distintas temperaturas y tiempos de activación, se aprecia un mayor rendimiento en la activación química a medida que la temperatura aumenta y el tiempo de activación es menor. En cambio, para la activación física, a menor tiempo y temperatura de activación, su rendimiento es mayor (p. 78).

Selección teórica de método de activación para carbón activado

El actual laboratorio químico de la Universidad Católica de El Salvador (UNICAES), cuenta con la capacidad instalada necesaria para realizar pruebas de activación física de carbón. En cuanto a la activación química de carbón, será necesario adquirir algunos reactivos químicos para hacer pruebas aplicando este tipo de activación de carbón. Por lo tanto, la realización de pruebas de activación química de carbón estará sujeta a la adquisición de reactivos químicos.

La selección del método de activación de carbón obtenido de bambú se puede realizar en el momento de recopilar las muestras de variedades de bambú

con las cuales se podrían realizar las pruebas para elaborar carbón activado, tomando en cuenta las condiciones de las cuales se disponga en el laboratorio, ya que ambos métodos de activación, tanto físico como químico, pueden aplicarse.

3. Conclusión

Con el desarrollo de la investigación, se ha dado respuesta a la pregunta planteada: ¿Cuáles son los métodos para la activación del carbón activado obtenido de bambú? Se identificó que la activación de los materiales carbonosos, entre ellos el bambú, se realiza a través de dos métodos: el método de activación física, también conocido como activación térmica, y el método de activación química. En ambos casos, el objetivo es desarrollar la porosidad del carbón, lo que le permitirá adsorber diferentes partículas o sustancias en su superficie.

Durante la investigación se determinó que, en la activación física del carbón obtenido de bambú, la carbonización y la activación son procedimientos separados, utilizando vapor de agua o dióxido de carbono para llevar a cabo la activación. En cambio, en la activación química, la carbonización y la activación se producen en un solo paso, lo cual permite optimizar el tiempo de producción del carbón activado de bambú.

Entre las diferencias de ambos métodos, se puede mencionar que la activación física requiere temperaturas más altas que el proceso de activación

química. Por otra parte, la activación química presenta el inconveniente de la disposición final de los residuos generados durante el lavado del carbón activado y tiene un costo más elevado que la activación física.

Es importante señalar que, al elegir el método de activación del carbón activado obtenido de bambú, un criterio relevante puede ser la variedad de bambú utilizada como precursor, ya que estas difieren en propiedades como el porcentaje de material volátil, lo cual influirá en el desarrollo de la porosidad durante la activación. Otros criterios de selección incluyen el propósito del carbón activado, el tipo requerido (granular o en polvo) y la capacidad instalada para realizar la activación, entre otros. En investigaciones futuras sobre carbón activado de bambú, podrían plantearse preguntas como: ¿Qué características presenta el carbón activado en diferentes aplicaciones? e incluso: ¿Cuál variedad de bambú disponible en El Salvador es más conveniente para elaborar carbón activado?

El aprovechamiento de materiales como el bambú para la elaboración de carbón activado contribuye al desarrollo sostenible, asegurando la permanencia de las plantaciones forestales, ya que podría evitarse la tala de árboles para producir carbón a partir de madera, y de este modo mitigar los efectos del calentamiento global causados por la deforestación. Por estas razones, es necesario continuar con la investigación y difundir esta información a los sectores correspondientes.

4. Referencias

- Andrade, D. (2016). Producción de carbón activado a partir de la caña guadua (*Guadua Angustifolia K.*) mediante activación química con hidróxido de potasio. [Trabajo de Pregrado, Ingeniería Química] Escuela Politécnica Nacional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13009>
- Chau, M., Vásquez, L. (2020). Utilización del carbón activado a partir del Bambú (*Guadua Angustifolia Kunth*), para captar arsénico de las aguas subterráneas en el distrito de Pacora. [Trabajo de pregrado, Ingeniería Ambiental] Universidad César Vallejo. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/66679/Chau_MEGLV-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Chew, T. W., H'Ng, P. S., Luqman Chuah Abdullah, B. C. T. G., Chin, K. L., Lee, C. L., Mohd Nor Hafizuddin, B. M. S., y TaungMai, L. (2023). A Review of Bio-Based Activated Carbon Properties Produce from Different Activating Chemicals during Chemicals Activation Process on Biomass and Its Potential for Malaysia, *Materials*, 16(23): 7365. <https://doi.org/10.3390/ma16237365>
- Cubillos, C. S. (2019) Evaluación de la obtención de carbón activado a partir de bambú de la especie Chusquea Scandens Kunth por activación física (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7612>
- Daza L., Orrego J., Piñeres, J. y Fernández, J. (2018) Preparación y caracterización de carbones activados a partir de un carbón mineral de la cuenca del César (Colombia). *Revista Politécnica* ISSN 1900-2351 (Impreso), ISSN 2256-5353 (En línea), 14(26), 75-88. <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v14n26a7>
- Filippín, A. J., Luna, N. S., Pozzi, M. T., & Pérez, J. D. (2017). Obtención y caracterización de carbón activado a partir de residuos olivícolas y oleícolas por activacion física. *Revista Avances en Ciencias e Ingeniería*, 8(3), 59-71. <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323652916007.pdf>
- FUSADES, (2021). Tecnología a base de carbón para la agroindustria y cosmética natural. Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social (FUSADES). <https://fusades.org/publicaciones/TekReport%20mar2021.pdf>
- García, H. y Vivar, M., (2021). Producción de carbón activado a partir de los residuos producidos de una empresa productora de tiras de bambú en la ciudad de Durán. [Trabajo de pregrado, Ingeniería Industrial]. Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21987/1/UPS-GT003649.pdf>
- García-Guel, Y., Múzquiz-Ramos, E., y Ríos-Hurtado, J., (2019). Telas de carbón activado: generalidades y aplicaciones. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22, (182). Epub 04 de marzo de 2020. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.182>
- Gayathiri, M., Pulingam T., Lee, K., y Sudesh, K. (2022). Activated carbon from biomass waste precursors: Factors affecting production and adsorption mechanism. *Chemosphere*, 294, 133764, ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133764>
- Lamaming J., Saalah S., Rajin M., Ismail, N. y Yaser, A. (2022). A Review on Bamboo as an Adsorbent for Removal of Pollutants for Wastewater Treatment. *Hindawi International Journal of Chemical Engineering* Volume 2022, Article ID 7218759, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2022/7218759>
- López, M. I., Soledad, B. E., Aponte, G. M., y Delgado, J. (2021). Estudio de la capacidad adsorbente del biocarbón obtenido mediante tecnologías apropiadas como medio para purificar agua de lluvia. *Revista Tekhné*, 24(2), 40-52. <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/5034>
- Mishra, R., Singh, B., Acharya, B., (2024). A comprehensive review on activated carbon from pyrolysis of lignocellulosic biomass: An application for energy and the environment, *Carbon Resources Conversion*, 7, (4), 100-228. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100228>
- Navarrete, D., Quijano N. y Vélez, C. (2014). [Trabajo de pregrado, Ingeniería Civil] Elaboración de carbón activado a partir de materiales no convencionales, para ser usado como medio filtrante. Escuela Superior Politécnica del Litoral. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/29845>
- Neme, I., Gonfa, G., Masi, C. (2022). Activated carbon from biomass precursors using phosphoric acid: A review. *Heliyon*, 8(12), e11940. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11940>

- Orozco, G. y De Lira, R. (2020). Elaboración de biocarbón para el aprovechamiento de residuos proveniente de las podas de bambú (*Guadua angustifolia*). *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 7(1), 1 – 9. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/RMAE_completa_71-2020.pdf#page=9
- Ortiz Quintero, J. N. y Puerto Angarita, N. F. (2019). Uso del carbón activado de guadua para el tratamiento de aguas residuales: revisión y vigilancia tecnológica. [Trabajo de pregrado, Ingeniería Civil] Universidad Católica de Colombia. <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/23859>
- Prías-Barragán, J., Echeverry-Montoya, N. y Ariza-Calderón, H. (2015). Fabricación y caracterización de carbón activado y de nanoplaquetas de carbón a partir de *Guadua angustifolia* Kunth para aplicaciones en electrónica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 39(153):444-449. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.139>
- Prieto, J., Pérez, A., Curbelo, A., Enríquez, M. y Mollineda, A. (2021). Adsorción de iones plomo (II) en condiciones isotérmicas utilizando carbones activados de bagazo de caña, marabú y bambú. *Revista Centro Azúcar*, 48 (3), 21-28. http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/663/761
- Quan, C., Miskolczi, N., Feng, S., Grammelis, P., Wu, C. and Gao, N. (2023). Effect of type of activating agent on properties of activated carbon prepared from digested solid waste. *Journal of Environmental Management*, 348, 119234, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119234>
- Quintero-Rodríguez, L., Prías-Barragán, J., Echeverry-Montoya, N. y Ariza-Calderón, H. (2014). Construcción y caracterización de un dispositivo emisor en el infrarrojo basado en nanoplaquetas de carbón de *Guadua angustifolia* Kunth. *Revista de Investigaciones Universidad Del Quindío, Colombia*, 25(1): 80-87. <https://doi.org/10.33975/riuq.vol25n1.157>
- Raut, E., Bedmohata, M. y Chaudhari, A. (2023). Study of synthesis and characterization of raw bagasse, its char and activated carbon prepared using chemical additive. *Water Science & Technology*, 87 (9): 2233–2249, <https://doi.org/10.2166/wst.2023.134>
- Sánchez, C. (2018). Caracterización de carbón activado a partir de bambú “*Guadua angustifolia* Kunt” utilizando el método químico. [Trabajo de pregrado, Ingeniería Forestal]. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3340/sanchez-montesinos-christian.pdf>
- Varriano, N., Gil M., Cozzarín, R., Pereyra, A., Balasini, J., Alberino, J., García, S. y Puccacco, S., (2013), Producción sustentable de carbón activado a partir de caña de bambú. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional La Plata. <https://ria.utn.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12272/2565/Produc%C3%B3n%20sustentable%20de%20carb%C3%B3n%20activado%20a%20partir%20de%20ca%C3%A1na%20bamb%C3%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vejarano, N., Casas, I. (2021). Evaluación de la viabilidad de un tratamiento de aguas por carbón activado obtenido del bambú de la especie *Chusquea Scandens* Kunth. [Trabajo de pregrado, Ingeniería Química] Fundación Universidad de América. Repositorio Institucional Lumieres. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8664>
- Velázquez-Trujillo, A., Bolaños-Reynoso, E., & Pliego-Bravo, Y. S. (2010). Optimización de la producción de carbón activado a partir de bambú. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9 (3), 359-366, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62016236010>

Vera Raza, B. B., Mero Intriago, R. A., Burgos Briones, G. A., Cevallos Cedeño, R. E. (2022). Lignocellulosic waste and activated carbon production method, *Revista Minerva*, 1 (Special), 122-130. <https://doi.org/10.47460/minerva.v1iSpecial.87>

Vidal, M., Rodríguez A., Martínez K. y Ocampo J., Barrios, W. (2018). Potencial de residuos agroindustriales para la síntesis de Carbón Activado: una revisión. *Revista Scientia et Technica*, 23 (03), 411-419. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/17031/12981>

Yang, L., Yungang, W., Tao, L., Li, Z., Yanyuan, B. y Haoran, X. (2023). High-performance sorbents from ionic liquid activated walnut shell carbon: an investigation of adsorption and regeneration. *RSC Advances*, 13 (33), 22744-22757, <https://doi.org/10.1039/D3RA03555G>

Yi, H., Nakabayashi, K., Yoon, S. y Jin, M. (2022). Study on the applicability of pressurized physically activated carbon as an adsorbent in adsorption heat pumps. *RSC Advances*, 12 (5), 2558-2563, <https://doi.org/10.1039/D1RA08395C>

Zhang, H., Luo, L., Zhao, Z., Shen Y., Cui, J., Shi, X. y Han, X. (2024). Enhanced SO₂, NO, and Cr (VI) removal by lignin-derived high N-doped activated carbon through one-pot strategy: Structure development, structure–performance relationship and mechanism insight. *Separation and Purification Technology*, 348, 127687, ISSN 1383-5866, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.127687>