

Adsorción de Pb²⁺ y colorantes mediante carbón activado obtenido de *Agave angustifolia* Haw. y residuos vegetales

Pablo Michel Pérez Macedo¹, Susana Edith Hernández Arrazola², Laura Victoria Aquino González³, Frank León Martínez⁴, Prisciliano Felipe de Jesús Cano Barrita⁵, Alejandra Rojas-Olivos^{6*}.

DOI: 10.56643/rcia.v2i2.167

*Autor de correspondencia

Resumen

De la totalidad —100%— de los residuos sólidos urbanos generados en la ciudad de Oaxaca, 42% corresponden a residuos orgánicos. Ello hace indispensable considerar alternativas para la generación de materiales adsorbentes, debido al contenido de carbono orgánico (CO) presente en estos residuos. El carbón activado (CA) es un material capaz de adsorber colorantes y sustancias contaminantes, lo cual depende del contenido de CO presente en la materia prima. Se ha reportado que los residuos vegetales y el bagazo de agave son valorados para el compostaje por su capacidad de aumentar el contenido de CO. En este trabajo se obtuvo CA a partir de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. (CAB) y residuos vegetales (CAO) para evaluar su capacidad adsorptiva de Pb²⁺ y colorantes. La activación fisicoquímica realizada con H₃PO₄ se demostró mediante el desarrollo de la porosidad en micrografías comparativas, la adsorción de colorantes fue evaluada considerando pruebas de absorbancia colorimétrica por UV-VIS, la capacidad adsorptiva de Pb²⁺ fue valorada por medio de HNO₃/ICP-OES-MS, el índice de yodo se determinó con base en la norma NMX-F-296-SC-FI-2011 y el punto de carga cero se evaluó en un potenciómetro HANNA-HI4521. Las micrografías confirmaron el desarrollo de la porosidad tras la aplicación del método de activación utilizado, las pruebas colorimétricas demostraron valores de 0 u.a. en las soluciones filtradas mediante CAB y CAO. Respecto a la adsorción de Pb²⁺, valorada mediante pruebas de adsorción por lotes, se demostró que el CAB adsorbió 84.45% y el CAO 82.61%

de la concentración inicial de plomo presente en las muestras acuosas evaluadas en este trabajo de investigación. Por lo que es importante considerar el potencial de uso del CAB y el CAO en la adsorción de metales pesados y colorantes, así como en aplicaciones de tratamiento de agua.

Palabras Clave: Activación fisicoquímica, adsorbentes, materiales lignocelulósicos, residuos orgánicos, metales pesados.

Abstract

In the city of Oaxaca, 42% of 100% of the urban solid waste generated is organic, making it essential to consider alternatives for the generation of adsorbent materials due to the organic carbon (OC) content they contain. Activated carbon (AC) is a material capable of adsorbing dyes and polluting substances, which depends on the OC content of the raw material. It has been reported that plant residues and agave bagasse are valued for composting due to their ability to increase the OC content. In this work, AC was obtained from *Agave angustifolia* Haw bagasse. (BAC) and plant residues (OAC) to evaluate their adsorption capacity for Pb²⁺ and dyes, the physicochemical activation carried out with H₃PO₄ was demonstrated by the development of porosity in comparative micrographs, the adsorption of dyes was evaluated considering UV-VIS colorimetric absorbance tests, the adsorptive capacity of Pb²⁺ was assessed using HNO₃/ICP-OES-MS, the iodine value was determined based on the NMX-F-296-SCFI-2011 standard and the zero charge point was evaluated in a potentiometer HANNA-HI4521. The micrographs confirmed the development of porosity through the activation method used, the colorimetric tests demonstrated values of 0 u.a. in the solutions filtered by BAC and OAC. Regarding the adsorption of Pb²⁺ assessed through batch adsorption tests, they showed that BAC reduces 84.45% and OAC adsorbs 82.61% with respect to the initial concentration of lead in aqueous samples evaluated in this research work, which is why it is important consider the potential use of BAC and OAC in adsorption of heavy metals and dyes, as well as in water treatment applications.

Keywords: Physicochemical activation, adsorbents, lignocellulosic materials, organic waste, heavy metals.

Cómo citar este artículo. Pérez-Macedo, P. M., Hernández-Arrazola, S. E., Aquino-González, L. V., León-Martínez, F., Cano-Barrita, P.F. de J., Rojas-Olivos, A. (2024) Adsorption of PB²⁺ and dyes by activated carbon obtained from Agave Angus-tifolia Haw. And vegetal waste. *Revista Científica de Ingenierías y Arquitectura*. 2(2). 52-66 DOI: <https://doi.org/10.56643/rcia.v2i2.167>

¹ Ingeniero Ambiental, Universidad La Salle Oaxaca A.C. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9242-5864>

² M. en C. en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Universidad La Salle Oaxaca A.C. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9296-3642>

³ Maestra en Ingeniería Química e Integración de Procesos, Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Oaxaca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8438-9791>

⁴ M. en C. en Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales, Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Oaxaca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9817-2713>

⁵ Dr. en Ingeniería Civil, Instituto Politécnico Nacional CIIDIR Unidad Oaxaca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3501-283X>

⁶ Dra. en Ciencias en Conservación y Aprovechamiento de recursos naturales, CONAHCYT-Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR Unidad Oaxaca. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2045-4811>

*Autor para correspondencia: rojasolivos@hotmail.com, alejandra.rojas@conahcyt.mx.

Recibido: 25/09/23 | Aceptado: 09/11/23 | Publicado: 20/12/2023

Introducción

Oaxaca es uno de los principales estados en cuanto a producción de mezcal en el país. Desde 2013, la Asociación Rural de Interés Colectivo de Magueyeros y Mezcaleros de Oaxaca (aric) ha representado a más de 25 000 productores magueyeros y mezcaleros del estado. Su proceso de producción genera anualmente 122 696 toneladas de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. como residuos (Martínez Gutiérrez et al., 2013), el cual ha sido reportado como una materia prima importante para el compostaje por su capacidad para aumentar el contenido de carbono orgánico (Hidayu et al., 2016; Tan et al., 2008.).

Además de los desechos de agave, los residuos orgánicos generados por la industria restaurantera son considerados un insumo valorable, debido a que, anualmente, miles de toneladas de materia orgánica provenientes de estos lugares son vertidas en tiraderos a cielo abierto, rellenos sanitarios y sitios controlados (Semarnat, 2020), con lo que se desperdicia una importante Nota de carbono. A su vez, cuando este material se degrada, genera emisiones atmosféricas, compuestas en 95% por metano. Un estudio realizado por el Centro Mario Molina en conjunto con el Fondo de Defensa Ambiental y el Instituto Pembina (Centro Mario Molina, s. f.) reportó que “el metano es un potente gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático, responsable del 25% del calentamiento global actual”. Se ha informado que los residuos vegetales y el bagazo de agave son materiales precursores importantes en el compostaje, pues tienen la capacidad para aumentar el contenido de carbono orgánico. Asimismo, se ha demostrado que el bagazo de agave es un buen precursor de composta por sus propiedades fisicoquímicas, entre las que destaca su elevado porcentaje de carbono orgánico total (%COT), registrándose de 42.7 a 51.6% en muestras de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. (Aguirre-Joya et al., 2018; Martínez-Gutiérrez et al., 2013). Por otra parte, se han reportado investigaciones relacionadas con la caracterización de carbón activado a partir de otras materias primas orgánicas (fibra de coco y otras especies de agave) que, gracias a sus características lignocelulósicas, han mostrado resultados favorables en valoraciones de adsorción de contaminantes en el tratamiento de aguas residuales (Velásquez-Jiménez et al., 2013; Farahani et al., 2011; Phan et al., 2006.).

Uno de los metales pesados cuyos efectos son negativos para la salud humana es el plomo (Pb²⁺). Éste es absorbido por personas que a cau-

sa de carencias económicas se ven en la necesidad de exponerse directamente a este metal; con el paso del tiempo, éste genera daños irreversibles que afectan su bienestar como consecuencia de su elevado potencial neurotóxico (Caravanas et al., 2014). Las principales vías acarreadoras de plomo son los alimentos y el agua (Llop et al., 2013), por lo que es importante desarrollar alternativas para su remoción. Considerando lo mencionado anteriormente, en este trabajo se consolidó el objetivo de obtener un material adsorbente (CA) a partir de bagazo de *Agave angustifolia* Haw. y de residuos orgánicos vegetales. Para ello se empleó un método de activación fisicoquímica, con la finalidad de evaluar su capacidad de adsorción de colorantes y plomo (Pb²⁺) y de reducir la cantidad de desechos orgánicos en rellenos sanitarios municipales y vertederos al aire libre mediante el desarrollo de una alternativa que permita el aprovechamiento de residuos.

Materiales y métodos

El bagazo de *Agave angustifolia* Haw. se obtuvo como residuo de la producción artesanal de mezcal en el municipio de Santiago Matatlán, Tlaxiaco, Oaxaca, mientras que los residuos orgánicos vegetales se recogieron al finalizar el turno matutino de las clases de cocina de la Universidad La Salle Oaxaca. Los mismos consistían en una mezcla de lechuga, espinacas, perejil, etc. Los residuos fueron secados en un deshidratador híbrido facilitado por el Laboratorio de Alimentos del ciidir ipn Unidad Oaxaca (López, 2011; A. O. A. C., 1990, citado en Pérez-Macedo, 2023.). Para reducir el tamaño de las partículas, se utilizó un molino marca Pulvex, a fin de facilitar el proceso de calcinación. La calcinación se llevó a cabo en una mufla marca civek modelo K-25 durante 40 minutos a 700°C. Los residuos carbonizados se activaron químicamente en una solución de H₃PO₄ al 85%. Luego se los colocó en un horno a 110 °C durante tres horas y posteriormente se los sometió a 450°C durante una hora adicional, de manera que se completara el proceso de activación. Finalmente, se lavó el producto resultante con agua destilada caliente y NaOH 1 M, con el fin de ajustar el pH entre 6.5 y 7. Cada tipo de carbón activado (CA) obtenido se deshidrató, pulverizó y tamizó a través de una malla # 100, siendo almacenado a temperatura ambiente hasta su evaluación. Se analizó cada muestra de CA obtenida en un microscopio electrónico de barrido jeol modelo JSM-IT300LV, a fin de observar las diferencias en la porosidad desarrollada por cada muestra. Para determinar el índice de azul de metileno, se prepararon soluciones de concentración conocida de dicho

colorante de 0,2 a 24 mg/L; los valores de absorbancia fueron determinados empleando el método de curva de calibración en un espectrofotómetro uv-vis modelo VE-5100UV. Se colocaron por separado 0.5 g de CAB, CAV y CAC (marca Hycel) en 25 mililitros de solución de azul de metileno 20 mg/L con base en la metodología de Pérez-Macedo (2023); la absorbancia de las soluciones filtradas de cada carbón activado se evaluó por triplicado. El índice de yodo se estableció de acuerdo con la norma NMX-F-296-SCFI-2011. Para el punto de carga cero (PCC) se consideró el procedimiento indicado por Pérez-Macedo (2023), agregando las cantidades apropiadas de HCl 0.1 M y NaOH 0.1 M. A estas soluciones se añadieron 0.5 g de la muestra del material adsorbente y, después de 48 horas de agitación a temperatura ambiente, se midió el valor del pH final. Las mediciones de PCC se llevaron a cabo en un potenciómetro hanna modelo HI4521. El PCC se determinó gráficamente como el punto en que la variación del pH contra la inicial cruza la línea en que su valor es cero. Para determinar la capacidad de adsorción del Pb^{2+} se usaron matraces Erlenmeyer de 1 L, a los que se añadieron 500 mL de solución acuosa a una concentración conocida del metal. La concentración inicial de Pb^{2+} fue de 80 mg/L, en relación con 1 g/L de CA; cada matraz se colocó en un baño con agitación constante de 150 rpm a 30°C durante seis horas. Posteriormente, se determinó la concentración residual de Pb^{2+} en las muestras acuosas por HNO₃/ICP-oes-ms del laboratorio certificado del Servicio Geológico Mexicano en la ciudad de Oaxaca (Pérez-Macedo, 2023).

Resultados y discusión

En este trabajo se demuestra el efecto del proceso de activación fisicoquímica aplicado al bagazo de agave y a los residuos vegetales. En la figura 2 se muestra la microestructura desarrollada en el CAB, misma que se analizó utilizando microscopía electrónica de barrido; se corrobora la presencia de una superficie fracturada porosa en comparación con la mostrada en la figura 1, en la que se presenta la muestra carbonizada antes de ser sometida al proceso de activación. Así también, la figura 4 muestra la porosidad desarrollada en el CAO tras ser sometido al mismo proceso de activación en comparación con la presentada en figura 3, en la que se aprecia la muestra de residuos orgánicos vegetales sin activar.

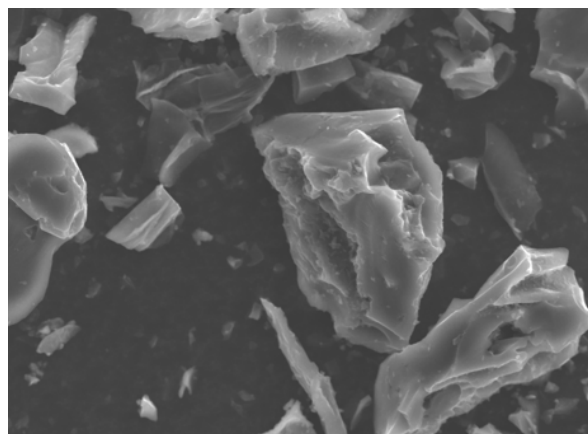


FIGURA 1. Carbón sin activar de bagazo de Agave angustifolia Haw, magnificación a x950 obtenida mediante SEM JSM-IT300LV.

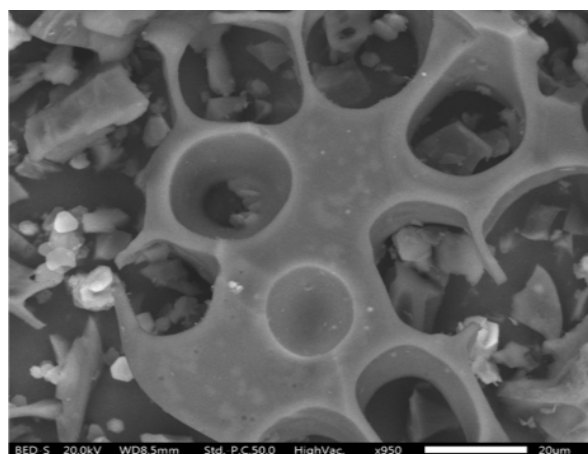


FIGURA 2. Porosidad desarrollada en el carbón activado de bagazo de Agave angustifolia Haw, magnificación a x950 obtenida mediante SEM JSM-IT300LV.

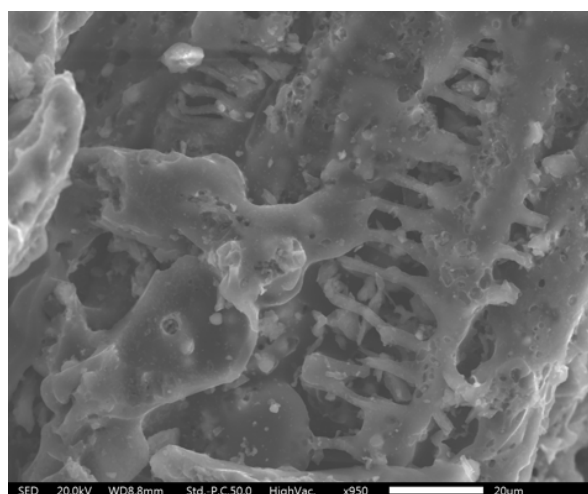


FIGURA 3. Carbón de residuos orgánicos vegetales sin activar, magnificación a x950 obtenida mediante SEM JSM-IT300LV.

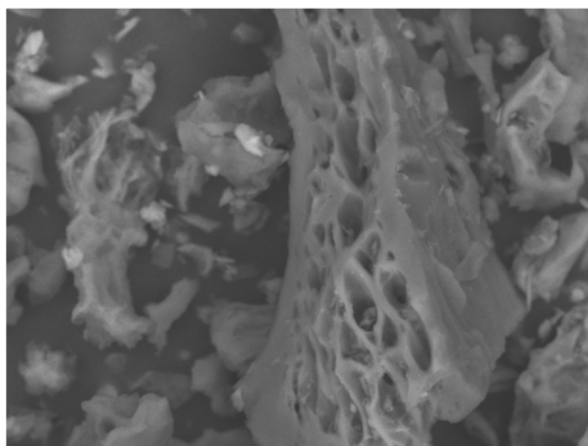


FIGURA 4. Desarrollo de la porosidad en carbón activado obtenido de residuos de vegetales, magnificación a x950 obtenida mediante SEM JSM-IT300LV.

En la tabla 1 se recogen los resultados correspondientes a las pruebas de capacidad de adsorción del colorante azul de metileno y de Pb²⁺ realizadas para cada tipo de carbón activado. Con base en los resultados obtenidos, se evidencia que los valores resultantes son similares a los del carbón activado comercial. Dichos resultados corroboran que el proceso de activación mediante H₃PO₄ favoreció el desarrollo de la porosidad; asimismo, se constató que la estabilidad del pH calculado mediante el punto de carga cero coincide con la tendencia reportada en el trabajo de Melliti et al. (2023) para ambos tipos de carbón activado (CAB y CAO). Los resultados de la concentración residual Pb²⁺ en las muestras acuosas reportados demuestran que el CAB adsorbe 84.45% y el CAO 82.61% de la concentración inicial de plomo de 80 mg/L.

Tabla 1.

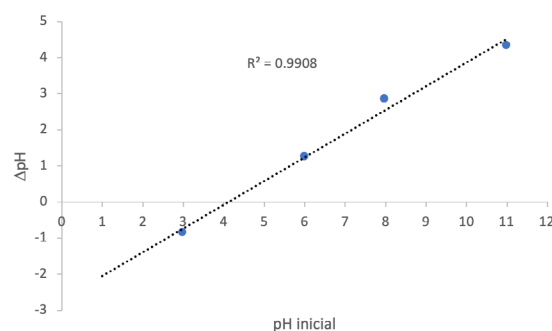
Pruebas de capacidad de adsorción del carbón activado de residuos orgánicos de vegetales y de bagazo de Agave angustifolia Haw.

Tipo de carbón	Azul de metileno (u.a.)	Índice de yodo (mg/g de carbón)	Plomo (mg/L)
CAB	0.0	721.7	12.44
CAO	0.0	694.1	13.91
CAC	0.001	500-1200	13.95

CAB: Carbón activado de bagazo de Agave angustifolia Haw., CAO: carbón activado de residuos de vegetales, CAC: carbón activado comercial.

Figura 5.

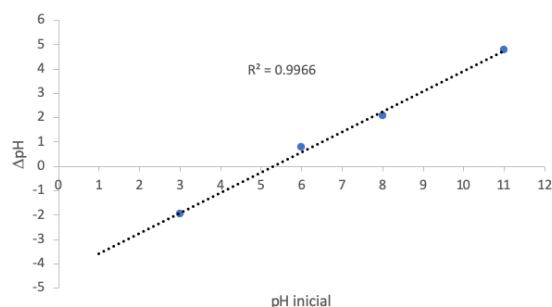
Gráfica ilustrativa del punto de carga cero del CAB



Nota: (Pérez-Macedo, 2023)

Figura 6.

Gráfica ilustrativa del punto de carga cero del CAO



Nota: (Pérez-Macedo, 2023)

En las figuras 5 y 6 se muestra la determinación del punto de carga cero; éste da cuenta de la disminución del pH PCC del CAB y el CAO desde 4.01 y 5.52, respectivamente. Esto demuestra la reducción de la característica básica de la superficie del carbón activado obtenido y, por consiguiente, el aumento de sus propiedades ácidas. Melliti et al. (2023) reportaron que la adsorción de plomo se ve favorecida en un rango de pH de entre 3.2 y 5.5, lo que responde a la generación de aniones en la superficie porosa de los materiales con características lignocelulósicas que da lugar a interacciones con cationes metálicos (Pérez-Macedo, 2023; Alghamdi et al., 2019).

Los resultados obtenidos demuestran que el método de activación fisicoquímica fue favorable para ambos tipos de residuos, constatándose el desarrollo de la porosidad en cada tipo de carbón activado obtenido a partir bagazo de agave y residuos orgánicos de vegetales. Los resultados recogidos en la tabla 1 muestran que cada parámetro evaluado es similar al presentado por el carbón activado comercial, por lo que resulta impor-

tante resaltar que la cantidad de yodo adsorbido es proporcional a la superficie del carbón activado. Los valores de cada tipo de carbón se encuentran dentro del valor típico de carbón comercial conforme la NMX-F-296-SCFI-2011 considerada en la metodología de activación. La selección de materias primas con características potenciales atribuidas a la presencia de lignina es un factor determinante para considerar el uso potencial de un material como adsorbente de metales pesados y/o colorantes (Obregón-Valencia y Sun-Kuo; 2014). Así, el bagazo de agave usado en este trabajo, reportado como material lignocelulósico por antecedente de otras variedades de la especie evaluada por Velásquez-Jiménez et al., (2013), puede tener el mismo potencial de uso como adsorbente de colorantes y metales tóxicos, como los reportados en esta investigación (Pérez-Macedo, 2023). Una de las características fundamentales de los materiales adsorbentes es el valor del pH calculado en la determinación del punto de carga cero. En este trabajo se ha reportado el valor en el cual se favorece la remoción de sustancias contaminantes catiónicas y se demuestra que el proceso de remoción es favorable (Amaringo-Villa y Hormaza-Anaguano, 2013). Diversos trabajos, como el de Melliti et al. (2023), han demostrado un efecto favorable en la remoción de metales pesados a partir de carbón activado obtenido de fibras de palma datilera. El trabajo de Valdés-Rodríguez et al. (2023) evaluó diferentes biomásas lignocelulósicas, entre las que, con base en los resultados obtenidos, los frutos del árbol de jacaranda del estado de Aguascalientes, México, destacan como materia prima para la obtención de carbón activado; asimismo, se pone de manifiesto su capacidad para adsorber metales pesados como Hg^{2+} , Zn^{2+} y Pb^{2+} de soluciones acuosas. También es importante mencionar el trabajo realizado por Ibrahim et al. en 2023, en el cual se demuestra que el método de activación con H_3PO_4 es favorable para el desarrollo de porosidad en el material carbonizado de hojas de *Melaleuca japuti*. Los autores evidenciaron que es posible emplear material vegetal usado generalmente para compostaje como una alternativa para la obtención de carbón activado de bajo costo. Los estudios mencionados complementan lo demostrado por este trabajo, pues consideran la transformación de materias primas orgánicas en carbón activado mediante el uso de métodos de activación fisicoquímica con potencial de ser utilizados para la remoción de contaminantes, por ejemplo, metales tóxicos, de soluciones acuosas (Rojas-Morales et al., 2016). Esta investigación demostró la aplicación del proceso de activación a residuos de bagazo de agave y residuos vegetales, lo que hace posible considerarlo como una alternativa para su aprovechamiento y posible aplicación en el tratamiento del agua.

Conclusiones

Teniendo en cuenta las características que debe poseer la materia prima empleada para la obtención de carbón activado, este trabajo demostró que el uso del método de activación fisicoquímica con H_3PO_4 para obtener CA del bagazo de Agave angustifolia Haw. y de residuos vegetales permite desarrollar un material adsorbente capaz de retener colorantes y Pb^{2+} . Por consiguiente, podría considerarse que el CAB y el CAO evaluados en esta investigación presentan características similares a las del carbón activado comercial tras ser sometidos al proceso de activación utilizado como alternativa para reducir la cantidad de residuos orgánicos y generan un material con posibilidad de ser usado en procesos de remoción de contaminantes de muestras acuosas.

Agradecimientos

A los productores de mezcal del municipio de Santiago Matatlán, Tlacolula por el apoyo facilitado en la obtención del bagazo; a la Universidad La Salle Oaxaca A.C. por el financiamiento otorgado y al Instituto Politécnico Nacional ciidir Unidad Oaxaca por las facilidades otorgadas para la obtención de micrografías en el Laboratorio de Materiales Base Cemento.

Referencias

- Aguirre-Joya, J. A., Méndez-Montaño, M., y Cervantes-González, E. (2018). Bagazo de agave como alternativa para producir furfural: Una revisión. *Industrial Crops and Products*, 111, 468–476.
- Alghamdi, A., Al-Odayni, A., Saeed, W. S., Al-Kahtani, A. A., Alharthi, F. A., y Aouak, T. (2019). Adsorción eficiente de plomo (II) a partir de soluciones en fase acuosa utilizando carbón activado a base de polipirrol. *Materials*, 12(12), 2020. <https://doi.org/10.3390/ma12122020>.
- Amaringo-Villa, F. A. y Hormaza-Anaguano, A. (2013). Determinación del punto de carga cero y punto isoelectrico de dos residuos agrícolas y su aplicación en la remoción de colorantes. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 4(2): 27-36.
- A.O. A. C. (1990). Método oficial de análisis. Asociación de químicos analíticos oficiales, n° 934.06, Arlington, VA.
- Bhatnagar Amit, H. W., Marques Marcia, S. M. (2013). Una descripción general de los métodos de modificación del carbón activado para sus aplicaciones en agua. *Chemical Engineering Journal*, 219, 499-511.
- Caravanas Jack, D. R., Tellez-Rojo, M. M., Cantoral, A., Kobrosly, R., Estrada, D., Orjuela, M., Gualtero, S., Ericson, B., Rivera, A., Fuller, R. (2014). Niveles de Plomo en Sangre en México y su Implicación para la Carga Pediátrica de la Enfermedad. *Annals of Global Health* 80: e1-e11.
- Centro Mario Molina. (s. f.). <https://centromariomolina.org/>
- Farahani Meysam, A. S., Rozaimah, S., Hosseini, S., Shojaeipour, S., Kashisaz, M. (2011). Colorantes catiónicos basados en adsorción utilizando el bagazo de caña de azúcar activo con carbón. *Procedia Environmental Sciences* 10, 203-208.
- Hidayu, A. R., Muda, N. (2016). Preparación y caracterización de carbón activado impregnado de cáscara de palmiste y cáscara de coco para captura de CO₂. *Procedia Engineering* 148, 106-113.
- Ibrahim, A., Ismail, A., Juahir, H., Ihsan, Y. N., Sudianto, S., Ovinis, M., Kassim, A. M., Hanapi, N. H. M., y Hafizi, A. (2023). Preparación y caracterización de carbón activado obtenido de hojas de *Melaleuca cajuputi*. *Carbon Trends*, 100301. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2023.100301>
- López Vidaña, E. C. (2011). *Caracterización y evaluación de la eficiencia térmica y de secado en un deshidratador híbrido (solar-gas)*. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- Llop, S., Porta, M., Martínez, M. D., Aguinalalde, X., Fernández, M., Fernández-Somoano, A., Casas, M., Vrijheid, M., Ayerdi, M., Tardón, A., Ballester, F. (2013). Estudio de la evolución de la exposición a plomo en la población infantil española en los últimos 20 años. ¿Un ejemplo no reconocido de salud en todas las políticas? *Gaceta Sanitaria* 27(2), 149-155.
- Martínez-Gutiérrez, G. A., Iñiguez-Covarrubias, G., Ortiz-Hernández, Y. D., López-Cruz, J. Y., Bautista-Cruz, M. A. (2013). Tiempos de apilado del bagazo de maguey mezcalero y su efecto en las propiedades del compost para sustrato de tomate. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29(3), 209-216.
- Melliti, A., Yilmaz, M., Sillanpää, M., Hamrouni, B., y Vurm, R. (2023). Carbón activado con fibra de palma datilera de bajo coste para una adsorción eficaz y rápida de metales pesados del agua: estudios de caracterización, equilibrio y cinética. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 672, 131775. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2023.131775>
- Phan, N. H., Rio, S., Faur, C., Le Coq, L., Le Cloirec, P., Nguyen, T. Ho. (2006). Producción de carbones fibrosos activados a partir de fibras naturales de celulosa (yute, coco) para aplicaciones de tratamiento de agua. *Carbon* 44, 2569-2577.
- NMX-F-296-SCFI-2011. Industria azucarera y alcoholera - determinación del número de yodo en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar.
- Obregón-Valencia, D. y Sun-Kuo, M. del R. (2014). Estudio comparativo de adsorción de cadmio sobre carbón activado preparado a partir de aguaje (*Mauritia flexuosa*) y hueso de olivo (*Olea europaea* L.). *Journal of Environmental Chemical Engineering* 2, 2280-2288.
- Pérez-Macedo, P. M. (2023). Caracterización y comparación de las propiedades adsorptivas del carbón activado obtenido a partir de residuos orgánicos [Titulación por Reporte de investigación nivel licenciatura]. Universidad La Salle Oaxaca.
- Rojas-Morales, J. L., Gutiérrez-González, E. C., Colina-Andrade, G. de J. (2016). Obtención y caracterización de carbón activado obtenido de lodos de plantas de tratamiento de agua residual de una industria avícola. *Ingeniería, investigación y tecnología* 4(17), 453-462
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Renovables (2020). Diagnóstico Básico Para La Gestión Integral De Los Residuos, Semarnat, pp. 68-70.
- Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., Hameed, B. H. (2008). Optimización de las condiciones de preparación de carbones activados a partir de cáscara de coco mediante metodología de superficie de respuesta. *Chemical Engineering Journal* 137, 462- 470.
- Valdés-Rodríguez, E. M., Mendoza-Castillo, D. I., Reynel-Ávila, H. E., Aguayo-Villarreal, I. A., y Bonilla-Petriciolet, A. (2022). Fabricación de carbón activado a partir de biomasa lignocelulósica alternativa mexicana y su aplicación en el tratamiento de aguas: condiciones de preparación, análisis

de química superficial y propiedades de adsorción de metales pesados. *Chemical Engineering Research and Design*, 187, 9-26. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.08.039>

Velásquez-Jiménez, L., Pavlick, A., Rangel-Méndez, J. (2013). Caracterización química del bagazo de agave crudo y tratado y su potencial como adsorbente de cationes metálicos del agua. *Industrial Crops and Products* 43, 200-206.

Derechos de Autor© 2023 Pérez Macedo Pablo Michel, Hernández Arrazola Susana Edith, Aquino González Laura Victoria, León Martínez Frank, Cano Barrita, Prisciliano Felipe de Jesús, Rojas Olivos Alejandra



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Usted es libre para Compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de: Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.