

## **Bioadsorbentes activados a partir de subproductos de mango y su aplicación para el postratamiento de agua residual tratada. Estudios preliminares**

### ***Activated bioadsorbents from mango byproducts and their application for post-treatment of treated wastewater. Preliminary studies***

**Aylin Carrillo-Juárez<sup>1</sup>, Sayra Lissette Orozco-Cerros\*<sup>1</sup>, Bernardo López<sup>2</sup>, E. Montiel<sup>3</sup>, Mario Morales-Máximo<sup>2</sup>, Roberto Guerra-González<sup>1</sup>, Michel Rivero<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Posgrado de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Ciudad Universitaria, Morelia, 58060 Michoacán, México

<sup>2</sup>Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Carr. Pátzcuaro-Erongaricuaro Km. 3 (Quinta Tzipecua), 61613 Huecorio, Michoacán, México

<sup>3</sup>Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, UAEM, Ayala, 62715 Morelos, México

<sup>4</sup>Instituto de Investigaciones en Materiales, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta Morelia, 58190 Michoacán, México  
Correo-e (*e-mail*): sorozcocerros@gmail.com

\*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Author to whom correspondence should be addressed*

Recibido / *Received*: Septiembre / *September* 13, 2024

Aceptado / *Accepted*: Septiembre / *September* 30, 2024 (Número 1, enero-junio / *Number 1, January-June*)

#### **Resumen**

La agro-industrialización del mango (*Mangifera indica*) es uno de los procesos más rentables en el estado de Michoacán, México. Esto representa un gran reto en relación con el manejo integral de sus subproductos, como piel y semilla, debido a la gran cantidad generada y a sus características. Estos subproductos, hasta el momento, carecen de manejo integral para la industria a pesar de haberse encontrado usos valiosos, especialmente para la semilla y sus grasas que son similares a las del cacao. De acuerdo con el marco regulatorio en manejo de subproductos y residuos en México, el desarrollo de metodologías que permitan aprovechar y valorizar los residuos es importante para generar modelos económicos circulares que conduzcan a procesos sostenibles. Para esta fase de la investigación se recolectaron, reciclaron y valorizaron residuos de piel de mango, para el desarrollo de carbón estructurado con excelentes propiedades para su aplicación en la remoción de contaminantes presentes en el agua residual tratada en una planta de tratamiento de agua de la comunidad purépecha de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México. La metodología de la investigación consistió en: i) Recolectar la piel de mango, ii) Sintetizar con ella carbón estructurado mediante procesos de combustión y pirolíticos, bajo condiciones idóneas, y iii) Aplicar el carbón estructurado para mejorar la calidad del agua residual ya tratada como una etapa terciaria. La calidad del agua residual tratada y post-tratada se analizó mediante algunos de los parámetros considerados en el índice de calidad de agua (ICA), usado en la década de los setentas del siglo XX, ya que el laboratorio de la comunidad no cuenta todavía con la infraestructura para medir lo señalado por la norma oficial mexicana correspondiente, así como su equivalente estadounidense (NOM, APHA). Los resultados de algunos de esos parámetros considerados en el ICA mostraron un material con buenas propiedades fisicoquímicas, porosidad, estabilidad térmica y química y la presencia de grupos funcionales para su uso en la remoción de contaminantes.

**Palabras clave:** Bioadsorbentes activados, subproductos de mango (*Mangifera indica*), postratamiento de agua residual tratada

#### **Abstract**

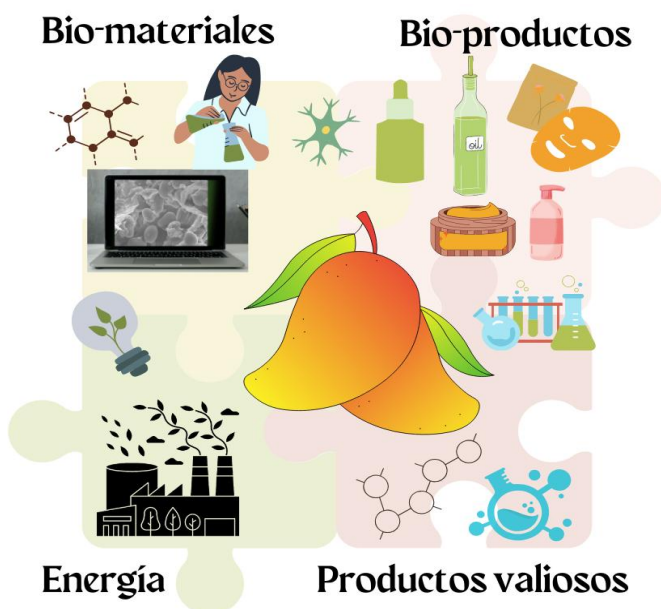
*The agro-industrialization of mango (Mangifera indica) is one of the most profitable processes in the state of Michoacán, Mexico. This represents a great challenge in relation to the integral management of its by-products, such as peel and seed, due to the*

large quantity generated and its characteristics. These by-products, to date, lack integral management for the industry despite having found valuable uses, especially for the seed and its fats that are similar to those of cocoa. According to the regulatory framework for the management of by-products and waste in Mexico, the development of methodologies that allow the use and valorization of waste is important to generate circular economic models that lead to sustainable processes. For this phase of the research, mango peel waste was collected, recycled and valorized, for the development of structured carbon with excellent properties for its application in the removal of contaminants present in treated wastewater in a water treatment plant in the Purépecha community of San Francisco Pichátaro, Michoacán, Mexico. The research methodology consisted of: i) Collecting mango peel, ii) Synthesizing structured carbon with it through combustion and pyrolytic processes under ideal conditions, and iii) Apply structured carbon to improve the quality of treated wastewater as a tertiary stage. The quality of treated and post-treated wastewater was analyzed using some of the parameters considered in the water quality index (WQI), used in the 1970s, since the community laboratory does not yet have the infrastructure to measure what is indicated by the corresponding Mexican official standard, as well as its American equivalent (NOM, APHA). The results of some of these parameters considered in the WQI showed a material with good physicochemical properties, porosity, thermal and chemical stability and the presence of functional groups for use in removing contaminants.

**Keywords:** Activated bioadsorbents, mango (*Mangifera indica*) byproducts, application for post-treatment of treated wastewater

## Introducción

Michoacán destaca por ser el principal estado exportador y uno de los más importantes productores de mango a nivel nacional; especialmente la región de Tierra Caliente. Michoacán contribuye con el 7.8% de la producción total a nivel mundial (GVR-4-68039-929-5, 2024). En 2017 se produjeron 153,214 toneladas de mango, haciendo que ocupara el quinto lugar como estado productor de mango. Se ha derivado una patente y un artículo para su tratamiento cuarentenario con objeto de conservarlo antes de llegar a los Estados Unidos, principal país al que México exporta este delicioso fruto (Espinosa-Aquino et al., 1999, 2011; Martínez-y-Moreno et al., 1995). La alta producción, la presencia de plagas y la baja oportunidad en los mercados nacionales e internacionales, causan una gran cantidad de desechos postcosecha (Lorenzo-Santiago et al., 2018). A pesar de que desde hace más de 30 años se publicaron trabajos sobre el aprovechamiento de la semilla de mango por el valor de su grasa que es similar a la del cacao pudiendo emplearse en absorción de medicamentos (supositorios), cosméticos (lápices labiales), etc. (Jiménez-Bermúdez et al., 1995; Solís-Fuentes, 1998, 2003; Solís-Fuentes et al., 2004, 2006, 2007a,b; Solís-Fuentes y Durán-de-Bazúa, 2003, 2004, 2006, 2011, 2020). Estos subproductos no han sido aprovechados teniendo un valor comercial, social y ambiental. Por esta razón, es importante su aprovechamiento y valorización en la generación de energía y biomateriales, como se muestra en la Figura 1 (Orozco et al., 2024; Orozco-Cerros et al., 2024).



**Figura 1.** Valorización de residuos de mango (Modificada de Orozco et al., 2024)

---

Por un lado, México experimenta un estrés hídrico promedio de 44.5% (Adame y Cubero, 2024). Garantizar el vital líquido y su calidad es uno de los grandes retos debido al alto crecimiento y a la concentración poblacional en zonas urbanas. Por ello, resulta imperante la optimización del uso del recurso hídrico y su calidad. En México, la falta de mantenimiento o cierre de plantas potabilizadoras (PP) y de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (PNH, 2020-2024) ponen en riesgo el saneamiento del agua para uso y consumo. Esta situación se agrava en comunidades donde la operación y eficacia de las PTAR depende del recurso monetario más que de la autogestión.

El desarrollo de bioadsorbentes activados a partir de residuos es una alternativa viable y puede formar parte de las estrategias de gestión de residuos agroindustriales. Los biomateriales activados poseen varios grupos funcionales. Estos grupos son los encargados de la adsorción de diferentes contaminantes orgánicos y metales pesados. Los carbones estructurados y activados, sintetizados a partir de diferentes precursores químicos y altas temperaturas, han demostrado excelentes características y altas áreas superficiales. Esto los hace viables para remover contaminantes del agua y de las aguas residuales.

Los materiales de carbono sintetizados a partir de residuos de biomasa poseen cualidades superiores a los nanomateriales de carbono tradicionales, por ejemplo, contenido de carbono (grado grafitico), longitud, estructura y diámetro (Mubarak et al., 2022). Para la síntesis de materiales derivados de la biomasa se emplean varios métodos, activación física y química y la carbonización (Mubarak et al., 2022; Man and Ridzuan, 2008; Oladimeji et al., 2021; Wibawa et al., 2020). La carbonización o pirólisis extrema, que en su mayoría deja carbono como residuo, implica el calentamiento, la deshidratación, la degradación y, finalmente, la carbonización de la sustancia orgánica presente en el precursor de la biomasa.

El objetivo de esta investigación fue obtener un material, carbón estructurado de bajo costo, a partir de piel de mango por un método pirolítico empleando como agente activante al hidróxido de potasio y su uso potencial como tratamiento terciario en una planta de tratamiento de agua de la comunidad purépecha<sup>3</sup> de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México. En este trabajo se sintetizó y caracterizó un material de carbón estructurado de bajo costo obtenido a partir de piel de mango, por un método pirolítico empleando como agente activante al hidróxido de potasio.

## **Materiales y métodos**

**Reactivos:** Se empleó como agente activante para la síntesis del bioadsorbente activado estructurado hidróxido de potasio (KOH). Todos los reactivos usados para el análisis de la calidad de agua tratada y post-tratada fueron de grado reactivo y suministrados por Merck, de acuerdo con las NOM y los métodos *APHA*, como se verá abajo.

**Recuperación del subproducto:** Los residuos de piel de mango fueron lavados para eliminar los restos de pulpa. La piel de mango fue cortada en piezas pequeñas (1×1 cm), sometida a un proceso de secado a 50°C por 72 horas y molida para generar un polvo de tamaño de partícula >450 µm (Orozco et al., 2024; Orozco-Cerros et al., 2024). El material particulado de piel de mango fue empleado para el desarrollo del bioadsorbente activado estructurado.

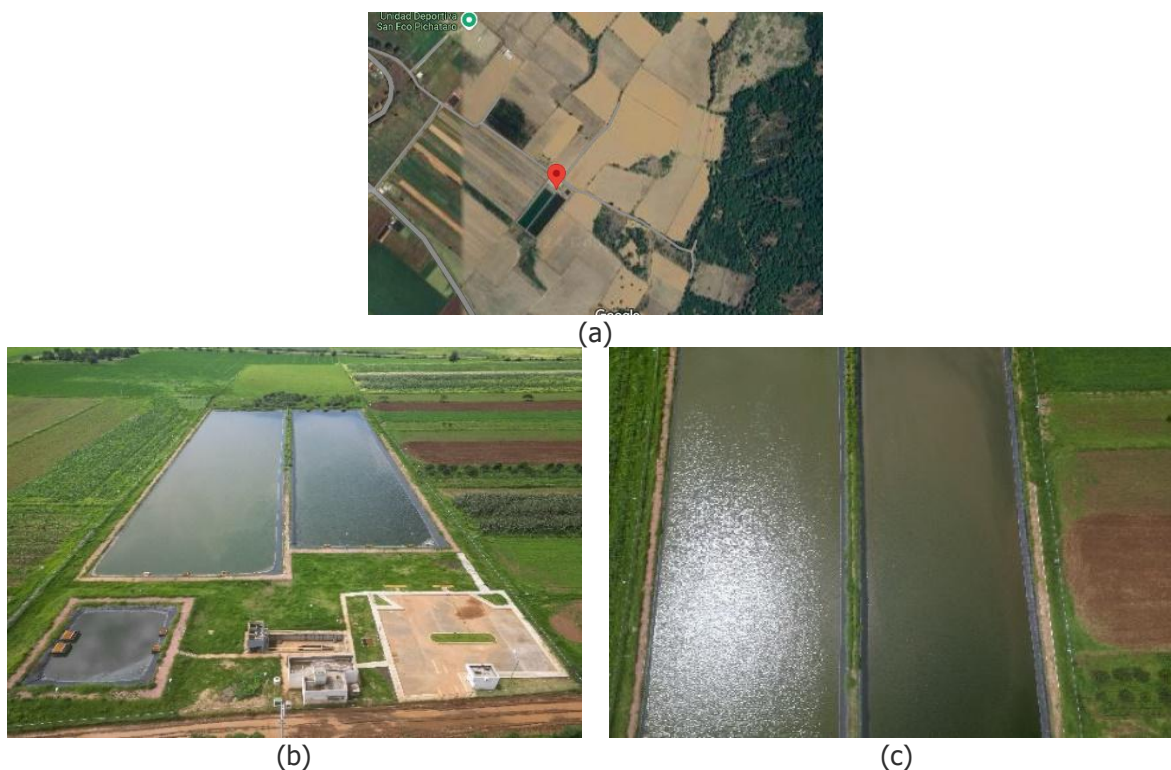
**Método pirolítico.** Se tomaron 5 g de material particulado, se agregaron 5 g de KOH y 5 mL de agua ultrapura, agitando hasta formar una mezcla homogénea. La mezcla resultante (piel de mango + KOH) fue sometida a un proceso térmico a 650°C por 60 minutos, en atmósfera inerte (Oginni et al., 2019), que fue etiquetada como BPM (bioadsorbente de piel de mango).

---

<sup>3</sup> Palabra de la lengua *p'urhepecha* o *p'urhe*, idioma purépecha [p'h'u'ɾepetʃa] ([https://es.wikipedia.org/wiki/Pueblo\\_pur%C3%A9pecha](https://es.wikipedia.org/wiki/Pueblo_pur%C3%A9pecha)) [Nota de los(as) editores(as)]

El BPM<sup>4</sup> fue caracterizado por espectroscopía infrarroja, EIR, difracción de rayos X y análisis termogravimétrico. Se emplearon un difractómetro Bruker D2-Phaser utilizando radiación CuK $\alpha$  a 30 kV y 10 mA; un espectrómetro IR Thermo Scientific Nicolet iS10 y un analizador térmico Perkin Elmer modelo STA 6000, utilizando oxígeno a 30 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>, con muestras de aproximadamente 20 mg de material y calentándolas de 25 a 900°C a 10°C min<sup>-1</sup>. Las condiciones de medición se encuentran descritas en Orozco et al. (2024). La morfología del bioadsorbente activado se observó con un microscopio electrónico de barrido marca JEOL modelo JSM-7600F de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

El material BPM fue aplicado para el post-tratamiento de una muestra de agua residual tratada recolectada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Francisco Pichátaro, PTAR-SFP (Figura 2). La planta incluye pretratamiento físico, 2 lagunas de maduración (anaerobia y facultativa), tuberías de interconexión y equipamiento, con capacidad de 7 L/s (licitación: LO-916035999-E19-2019). El proceso de post-tratamiento se llevó a cabo en una columna de adsorción de 100 cm<sup>3</sup> a escala de laboratorio y con operación hidrodinámica continua. Consistió en la aplicación de tres ciclos continuos, empleando 2 g de BPM. Se hizo un experimento para corroborar la reutilización del bioadsorbente BPM, instrumentando dos ciclos adicionales con el mismo bioadsorbente.



**Figura 2.** (a) Ubicación de la planta de tratamiento de agua residual, PTAR-SFP, (b) Vista de la planta y (c) Vista de las lagunas

Para el análisis de la calidad del agua residual tratada y post-tratada se evaluaron algunos de los parámetros del índice de calidad de agua (ICA), usado en la década de los setentas del siglo XX, ya que el laboratorio de la comunidad no cuenta todavía con la infraestructura para medir lo señalado por la norma oficial mexicana correspondiente, así como su equivalente estadounidense (NOM, APHA). La Tabla 1 presenta los parámetros que se usaban para ese ICA y los que se encuentran resaltados fueron

<sup>4</sup> Los autores consideraron importante adquirir un carbón producido con fibra de coco comercial pero el fabricante no da en la etiqueta información sobre su origen ni cómo fue elaborado. Este material fue caracterizado de la misma forma que el BPM

los que se pudieron realizar. Estos fueron pH (Hanna Instruments, 2017a) método electroquímico HI98129 Hanna 0.00 a 14.00±0.05), conductividad eléctrica (Hanna Instruments, 2017a), método electroquímico HI98129 Hanna, 0 a 20 mS/cm), sólidos disueltos totales (Hanna Instruments, 2017a,b), método electroquímico HI98301 Hanna 0 a 20 mg L<sup>-1</sup>), oxígeno disuelto (método yodométrico, reportado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2004), nitrógeno como nitratos (DOF, 2001) y dureza (método de titulación EDTA, Capote et al., 2015). También pudieron medirse con un donativo de "kits" demanda química de oxígeno (DOF, 2012), carbono orgánico total (Hach, 2024, "COT kit" rango alto). Se pudo también medir Fe (método de  $\sigma$ -fenantrolina, APHA-AWWA-WEF, 2022). Todas las muestras se evaluaron por triplicado, con excepción de las de COT que solamente se hizo para una muestra.

**Tabla 1.** Parámetros considerados en el índice de calidad de agua (ICA) (SEMARNAT, 2013)

Parámetro	Ponderación	Parámetro	Ponderación
Demanda bioquímica de oxígeno	5.0	<b>Nitrógeno en nitratos</b>	2.0
<b>Oxígeno disuelto</b>	5.0	Alcalinidad	1.0
Coliformes fecales	4.0	Color	1.0
Coliformes totales	3.0	<b>Dureza total</b>	1.0
Sustancias activas al azul de metileno (Detergentes)	3.0	<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	1.0
<b>Conductividad eléctrica</b>	2.0	Sólidos suspendidos	1.0
Fosfatos totales	2.0	Cloruros	0.5
Grasas y aceites	2.0	<b>Sólidos disueltos</b>	0.5
Nitrógeno amoniacal	2.0	Turbiedad	0.5

También se encontraron un grupo de tablas con información más reciente sobre calidad de agua de suministro (pozos - agua subterránea) donde se dan valores para estas variables (Conagua, 2013-2023) pero no tienen oxígeno disuelto ni pH:

Calidad del agua para sólidos disueltos totales-riego agrícola	Criterio	Descripción
Excelente para riego	SDT menor o igual a 500	Excelente para riego de todo tipo de cultivos
Cultivos sensibles	SDT mayor de 500 y menor o igual a 1000	Apta para riego de cultivos sensibles
Cultivos con manejo especial	SDT mayor de 1000 y menor o igual a 2000	Apta para riego de cultivos con manejo especial
Cultivos tolerantes	SDT mayor de 2000 y menor o igual a 5000	Apta para riego de cultivos tolerantes
Indeseable para riego	SDT mayor de 5000	Indeseable para riego
Calidad del agua para conductividad	Criterio	Descripción
Excelente para riego	CONDUC menor o igual a 250	Excelente para riego de todo tipo de cultivos
Buena para riego	CONDUC mayor de 250 y menor o igual a 750	Apta para riego de cultivos sensibles
Permisible para riego	CONDUC mayor de 750 y menor o igual a 2000	Apta para riego de cultivos con manejo especial
Dudosa para riego	CONDUC mayor de 2000 y menor o igual a 3000	Apta para riego de cultivos tolerantes
Indeseable para riego	CONDUC mayor de 3000	Indeseable para riego
Calidad del agua para nitrógeno de nitratos	Criterio	Descripción
Potable – Excelente	N_NO3 menor o igual a 5	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal

Potable - Buena calidad	N_NO3 mayor de 5 y menor o igual a 11	Aguas con indicios de aguas residuales o fertilizantes. Condición eutrófica-altos niveles de nutrientes. Efectos moderados en cultivos regados
No apta como FAAP	N_NO3 mayor de 11	Aguas superficiales con fuerte impacto de aguas residuales crudas con alta carga de nutrientes. Condición hipertrófica, florecimientos algales que incluyen especies tóxicas a seres vivos

Calidad del agua para hierro	Criterio	Descripción
Potable – Excelente	FE menor o igual a 0.3	Agua potable. Agua no contaminada o condición normal
Sin efectos en la salud - Puede dar color al agua	FE mayor de 0.3	Sin efectos en la salud - Puede dar color al agua
Calidad del agua para dureza	Criterio	Descripción
Potable – Suave	DUR menor o igual a 60	Agua potable. Bajo contenido de minerales
Potable - Moderadamente suave	DUR mayor de 60 y menor o igual a 120	Agua potable. Moderado contenido de minerales
Potable – Dura	DUR mayor de 120 y menor o igual a 500	Agua potable. Alto contenido de minerales, principalmente sales de calcio y magnesio
Muy dura e indeseable usos industrial y doméstico	DUR mayor de 500	Agua no apta como fuente de abastecimiento de agua potable. Muy dura e indeseable usos industrial y doméstico

De ellas se descartaron los valores que hacían al agua indeseable para uso poblacional (riego o consumo directo).

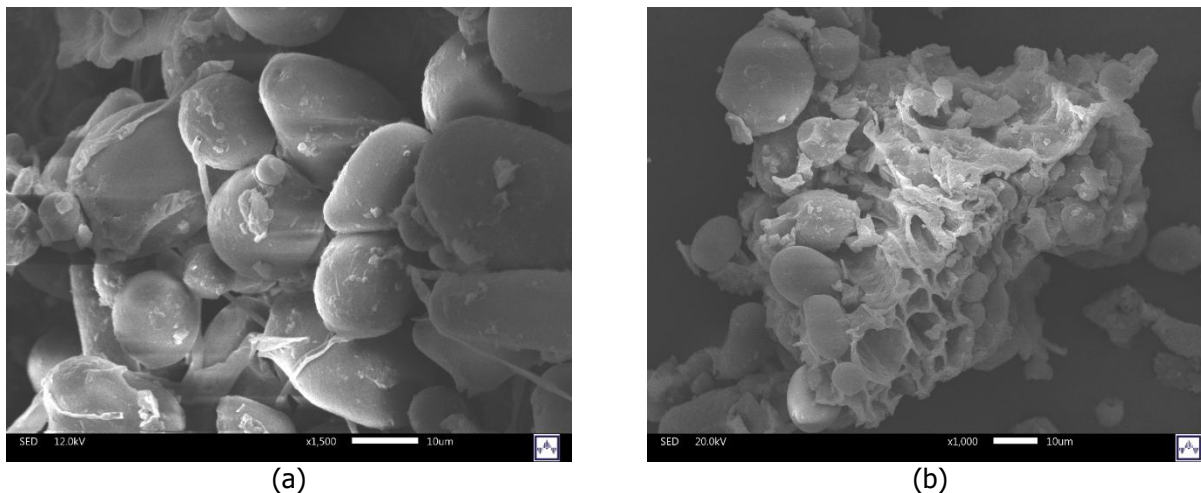
## Resultados y discusión

### Caracterización de BPM

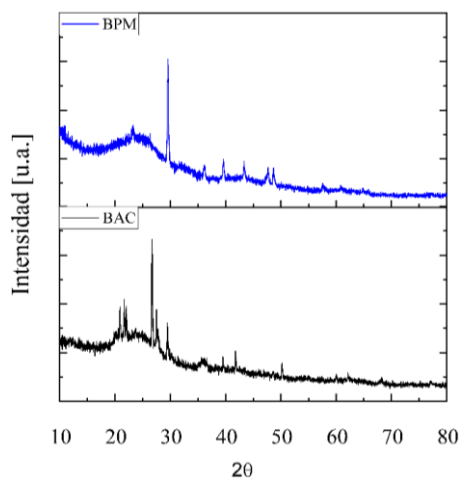
Las imágenes de *SEM* del material producido (BPM) fueron comparadas con uno que se tenía disponible obtenido a partir de fibra de coco para ver si había diferencias (Figura 3). Como se puede observar el bioadsorbente de coco (comercial) posee microestructuras en forma de esferas de poliglúcidos de tamaño de 10-16  $\mu\text{m}$  (Figura 3a). El carbón de coco comercial no tiene porosidad, siendo su morfología característica de un material no activado (Orozco et al., 2024). El bioadsorbente de BPM presenta porosidad como resultado de la reacción del KOH con el carbón durante el proceso de activación (Figura 3b). Esto coincide con los resultados reportados por Oginni et al. (2019). La morfología porosa de la superficie de los carbones activados es un punto positivo para la adsorción de contaminantes orgánicos o metales pesados.

En la Figura 4a se muestran los patrones de difracción de rayos X para los carbones activados BAC y BPM. Los materiales muestran un pico amplio a 22.8 correspondientes al plano (002) de una estructura de grafito indexada (JCPDS 00-056-0159) (Keppetipola et al., 2021). Este pico es característico de materiales altamente desordenados, parcialmente cristalizados y con una morfología de fase principalmente gráfitica. En la Figura 4b se muestran los espectros IR de los bioadsorbentes activados BAC y BPM. La banda a 3280  $\text{cm}^{-1}$  se debe a las vibraciones de estiramiento OH del enlace de hidrógeno intermolecular. Dos pequeños hombros en 1560 y 1370  $\text{cm}^{-1}$  podrían asignarse al enlace C=C  $sp^2$  y al estiramiento C-H del anillo aromático. Las bandas a 1030-1080  $\text{cm}^{-1}$  podrían asignarse al estiramiento C-O de fenoles y alcoholes, respectivamente. La banda a 870-990  $\text{cm}^{-1}$  podría asignarse a la flexión C-C y a la C-H fuera del plano en los anillos aromáticos (Leite et al., 2018; Orozco et al., 2024; Orozco-Cerros et al., 2024).

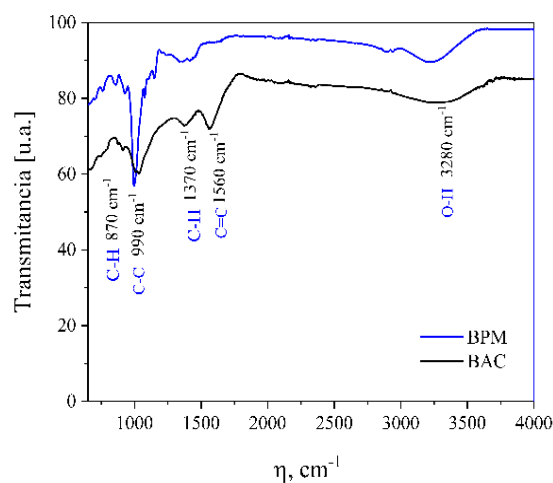




**Figura 3.** Imágenes de microscopía electrónica de barrido: (a) BAC (coco) y (b) BPM (piel de mango)



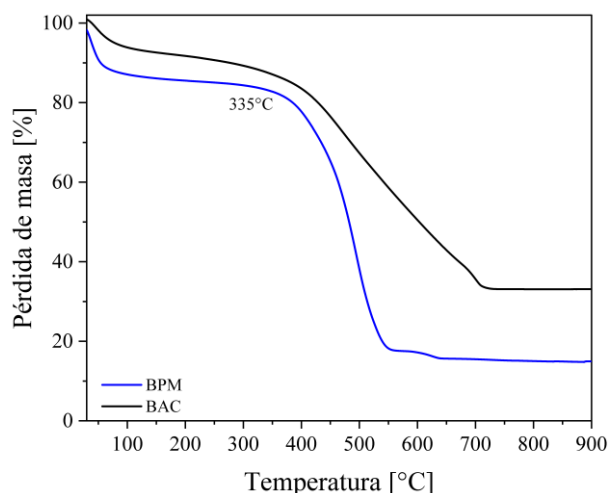
**Figura 4a.** Patrones de difracción de rayos X de los materiales BAC y BPM



**Figura 4b.** Espectros IR de los materiales BAC y BPM

En la Figura 5 se presenta el análisis termogravimétrico del carbón activado de coco BAC y del bioadsorbente activado estructurado, BPM. Como se puede observar los materiales BAC y BPM muestran comportamientos de degradación diferentes. Los materiales BAC y BPM tienen una pérdida de masa<sup>5</sup> de 8 y 12% ( $T < 100^{\circ}\text{C}$ ), respectivamente. Esto podría deberse a otros constituyentes volátiles de las muestras, por ejemplo, los constituyentes del aroma o aceites esenciales que son volátiles y por tanto tienen puntos de ebullición menores a  $100^{\circ}\text{C}$  (Solís-Fuentes y Durán-de-Bazúa, 2004). El bioadsorbente activado estructurado y el carbón activado de coco poseen estabilidad térmica a  $T < 335^{\circ}\text{C}$  y por encima de esta temperatura el material se descompone. Las pendientes de descomposición son diferentes, siendo más pronunciada para BPM, lo cual es de esperarse debido a la composición de los recursos biomásicos empleados (Orozco et al., 2024).

<sup>5</sup> Masa y peso NO son sinónimos. La masa es una propiedad de los cuerpos y se mide en kg y el peso es una fuerza aplicada a los cuerpos y se mide en N [nota de los(as) editores(as)]



**Figura 5.** Análisis termogravimétrico de los bioadsorbentes BAC (coco) y BPM (piel de mango)

### Aplicación del BPM

El objetivo de esta investigación fue mejorar la calidad de agua tratada en la PTAR de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México, usando el material desarrollado, BPM, como adsorbente de contaminantes no biodegradables presentes después del tratamiento biológico. Esto permitiría reutilizar el agua para actividades productivas de la comunidad. En la literatura se han probado diferentes carbones activados para mejorar la calidad del agua tratada reduciendo el contenido de contaminantes medidos como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno, (DQO) (Man y Ridzuan, 2008; Oladimeji et al., 2021), metales pesados (Rajan y Anish, 2024), minerales, cloruros, nitratos, entre otros (Jaber et al., 2024).

En la Tabla 2 se presenta la comparación del agua postratada de la PTAR de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México con el material en estudio. Se usaron como se mencionó en la metodología los parámetros del ICA para agua de origen subterráneo (tomados de la Tabla 1) y, dado que los autores no conocen la forma en que se obtuvieron las ponderaciones de ella, se complementó la información con la proporcionada por la Comisión Nacional del Agua de México (Conagua 2013-2023) considerando que fuera todavía apta para su uso. Los datos que sí cumplieron con algún parámetro están en negritas.

Los otros dos parámetros que pudieron medirse (DQO, COT) e incluso el pH se compararon con la norma oficial mexicana vigente (DOF, 2021) para su liberación a aguas y bienes nacionales, la cual fue recientemente actualizada. En esa norma, cuando los cloruros son mayores o iguales a 1000 mg/L, debe medirse COT.

Dado que se contaba con el donativo de los "kits" se midieron ambas, DQO y COT, porque no se tenía la forma de medir cloruros. Esa norma también indica que, cuando la conductividad eléctrica sea mayor o igual a 3500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , se debieran analizar y reportar enterococos fecales. Desafortunadamente tampoco se cuenta con infraestructura para medir este último parámetro.

Por esta razón, a esta parte de la investigación los autores la consideraron como preliminar.

Nuevamente se consideró el material de coco de origen desconocido adquirido comercialmente para ver su desempeño en el postratamiento del agua de la PTAR de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México.



**Tabla 2.** Comparación del agua postratada con el material en estudio (BPM) con los dos parámetros de la Norma vigente que debiera cumplir la PTAR-SFP de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México

Parámetro	Agua tratada PTAR-SFP	Valor BPM	Valor BAC (control comercial)	Base de comparación
Demanda química de oxígeno (DQO), mg/L	799±37	<b>143±12</b>	314±13	DOF (2021): 60-210
Carbono orgánico total (COT), mg/L	571	<b>24</b>	237	DOF (2021): 15-53
Valor de pH	<b>6.86</b>	<b>8.37</b>	<b>7.87</b>	DOF (2021): 6-9
Dureza, mg CaCO <sub>3</sub> /L	849.89	<b>64.27</b>	171.40	ICA, Conagua: 60-120
Nitrógeno de nitratos, mg/L	15.0	<b>8.53</b>	11.75	ICA, Conagua: 5-11
Sólidos totales disueltos (STD), mg/L	1630	1670	1850	ICA, Conagua*: 1000
Conductividad eléctrica (CE), mS/cm	3230	3530	3730	ICA, Conagua*: 250-2000
Fe, mg/L	0.518±0.026	<b>0.107±0.01</b>	<b>0.062±0.008</b>	ICA, Conagua: ≤0.3
Oxígeno disuelto (OD), mg/L	0.8	3.7	1.7	ICA, Conagua**: >6.5-8

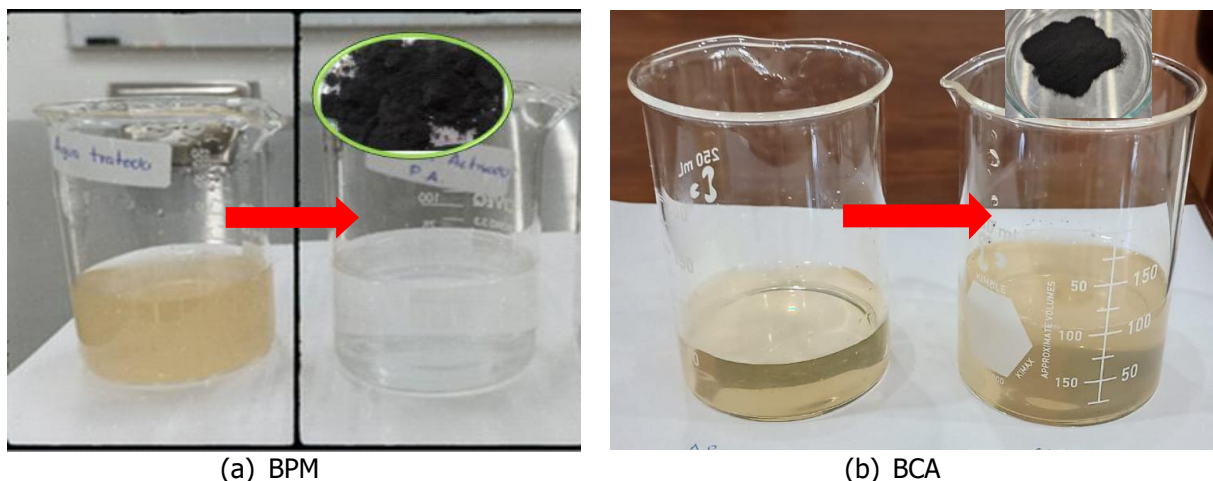
\*Uso para riego, \*\*No se encontró un valor en la Conagua y se usó el de una página-e de Canadá ([https://www.gov.nt.ca/sites/ecc/files/dissolved\\_oxygen.pdf](https://www.gov.nt.ca/sites/ecc/files/dissolved_oxygen.pdf))

El agua tratada en la planta instalada en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México, puede clasificarse como agua fuertemente contaminada de acuerdo con los valores de los parámetros obtenidos (solamente el valor de pH cumple con la normativa vigente). Esto indicaría que el sistema de tratamiento establecido por las autoridades en el momento de decidir la construcción de esta PTAR no fue el idóneo para el tipo de agua residual a depurar. De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021 (DOF, 2021), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, los valores de la DQO y los del COT no cumplen con los límites máximos permisibles para descarga en bienes nacionales más bajos sino solamente para algunos de ellos.

El post-tratamiento del agua con el bioadsorbente activado estructurado (BPM) y con el carbón de coco (BAC) permite disminuir el contenido de materia orgánica, de 571 mg/L de COT a 24 y 237 mg/L con los materiales BPM y BAC, respectivamente. Aquí es importante mencionar que esta variable no fue realmente tomada por los legisladores que aprobaron esta nueva norma como un parámetro de calidad sino solamente para el caso de que hubiera un exceso de cloruros. Esta variable no fue medida en estos experimentos. En este contexto no puede considerarse como parámetro de comparación.

El contenido de material susceptible a ser oxidado, medido como DQO, mostró un decremento de 799 mg/L a 143 y 314 mg/L para BPM y BAC, respectivamente. El bioadsorbente BPM demostró tener propiedades superficiales para la remoción de contaminantes presentes en el agua tratada, comparado con el BAC comercial. Si se observa la Figura 3 se ve que este material comercial no posee porosidad o sitios activos disponibles para la adsorción. En las Figuras 6a y b se muestra una imagen del agua tratada y post-tratada con los bioadsorbentes BPM y BAC, respectivamente. Como se puede observar con el material BPM, el agua post-tratada no posee color (no se hizo la prueba de color de acuerdo con la NOM vigente sino solamente se apreció visualmente) (Figura 6a).

En futuros experimentos se evaluará también para poder relacionar esta variable con el decremento de contaminantes presentes y la mejora en su calidad. Con el BAC la muestra de agua post-tratada prácticamente no cambia de color (Figura 6b). Si bien existe una disminución de color, el valor de este parámetro cuando se midiera probablemente estaría por encima de los límites máximos permisibles para su descarga en bienes naturales y su uso en sistemas de riego agrícola.



**Figura 6.** Comparación del agua tratada y post-tratada con los bioadsorbentes aplicados

El postratamiento de agua mejoró la calidad de agua tratada con el bioadsorbente BPM, de acuerdo con los criterios de la Conagua (2013-2023), en los parámetros de dureza, nitrógeno como nitratos y Fe, pudiendo tener la opción de su uso en riego de cultivos comestibles, aunque justamente por su contenido de sales medidas como conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales no es apta para riego pues salinizaría los suelos.

Finalmente, para analizar la posible reutilización del bioadsorbente BPM, el material se probó dos ciclos adicionales (y se hizo lo mismo para el material de coco comercial). Los resultados de los valores de parámetros de pH, dureza, SDT, CE, N de  $\text{NO}_3^-$ , Fe, DQO, COT, se muestran en la Figura 7.

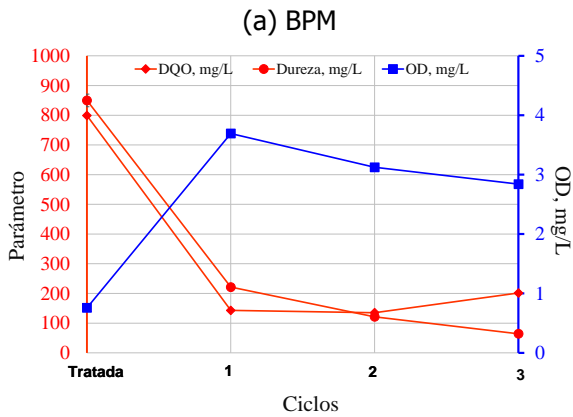
En la Figura 7a.1, para el material BPM, se puede observar que los valores de remoción de la DQO se mantienen en los tres ciclos. Este resultado es relevante ya que muestra que el material BPM tiene potencial para ser reutilizable por tres ciclos consecutivos. El material BAC (ver Figura 7b.1), aunque absorbe poco, se mantiene en los valores reportados en el primer ciclo. El oxígeno disuelto no se considera por tener valores muy bajos.

Para el hierro y el nitrógeno de nitratos (Figuras 7a.2, 7b.2) el segundo y tercer ciclos no mantienen el desempeño inicial y los otros parámetros, con excepción del pH, no cumplieron con lo deseado según la recomendación de la Conagua (2013-2023) como se ve en las Figuras 7a.3 y 7b.3.

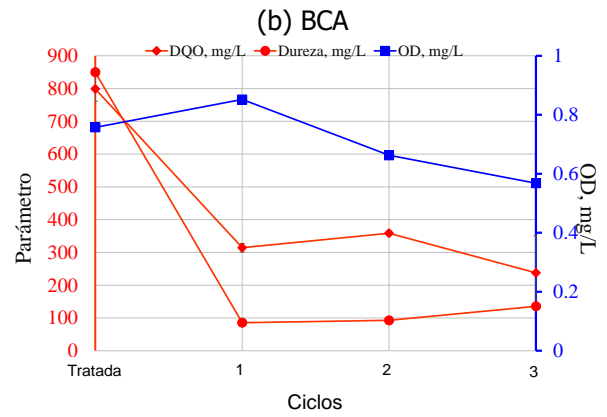
La reutilización del agua tratada es una de las metas en el Programa Hídrico Nacional. Para cumplir esa meta es importante poner en operación, dar mantenimiento y operar las PTAR que sí garanticen el cumplimiento de las normas vigentes, así como incorporar tecnologías que permitan incrementar la calidad del agua tratada. De acuerdo con la ONU-OMS, el 80% de las aguas residuales y tratadas se descargan al ambiente sin tratamiento adecuado (ONU-Hábitat y OMS, 2021).

En este contexto es importante el desarrollo e implementación de tecnologías emergentes en las PTAR que permita la reutilización y la optimización del recurso hídrico, uno de los objetivos para el desarrollo sustentable 2020-2030 (ODS).

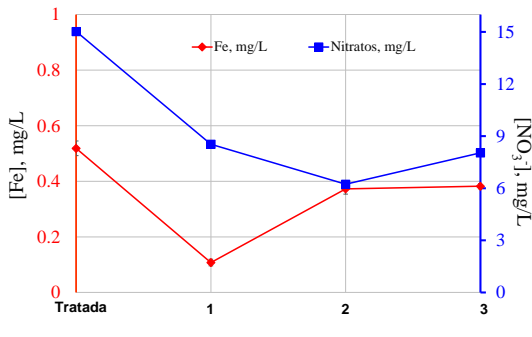
Este biomaterial, obtenido de lo que ahora es un residuo, podría ser una opción para las comunidades más vulnerables del país, como las comunidades purépechas (*Pur'épechas*, en la lengua originaria) si se logran superar estos valores haciendo modificaciones en las condiciones de producción del carbón activado.



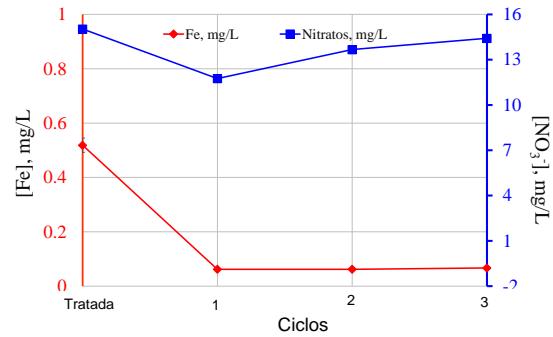
**7a.1.** Demanda química de oxígeno, dureza y oxígeno disuelto



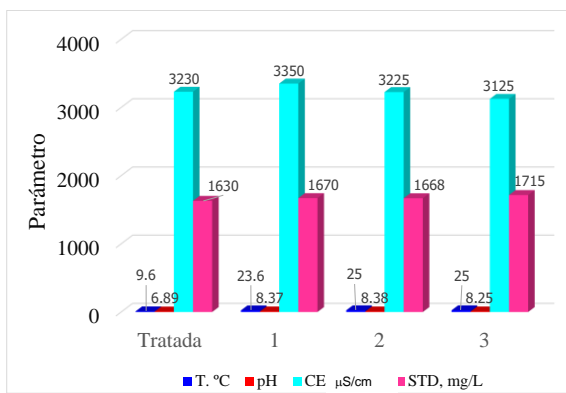
**7b.1.** Demanda química de oxígeno, dureza y oxígeno disuelto



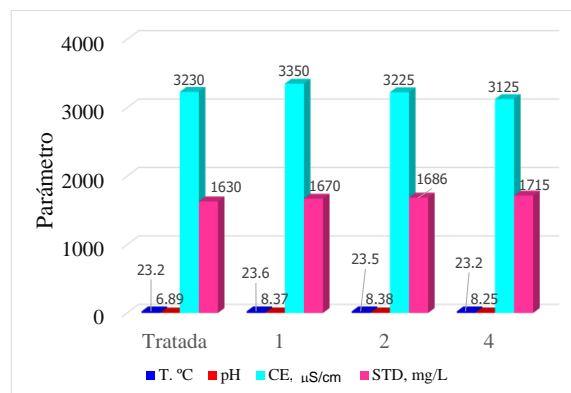
**7a.2.** Hierro y nitratos



**7b.2.** Hierro y nitratos



**7a.3.** Temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos



**7b.3.** Temperatura, pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos

**Figura 7.** Perfiles de los parámetros fisicoquímicos del agua tratada y post-tratada (tres ciclos continuos) empleando los materiales (a) BPM y (b) BAC

## Conclusiones

En esta investigación se llevó a cabo el post-tratamiento de agua residual tratada de la planta de tratamiento de agua residual, PTAR, de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México, a escala de laboratorio. Para este objetivo se desarrolló un bioadsorbente activado estructurado a partir de residuos de piel de mango. Los resultados obtenidos se compartieron con los habitantes de las comunidades para su discusión y elaboración de estrategias que permitan mejorar la calidad del agua tratada.

El bioadsorbente activado estructurado podría llegar a ser una tecnología sostenible que podría aplicarse para mejorar la calidad del agua tratada en la PTAR y, con ello, poder reutilizarla de forma que garantice la salud de la población y de los ecosistemas, así como contribuir a la optimización del uso del recurso hídrico, cada vez más escaso.

El desarrollo de la tecnología a partir de residuos agroindustriales generados en la región como la piel de mango puede ser una opción viable en términos sociales y ambientales, además de ofrecer una estrategia para el manejo integral de residuos, a través de su valorización y aprovechamiento, generando modelos económicos bajo una perspectiva de economía circular.

Para ello deberá obtenerse el apoyo de un laboratorio equipado que permita la producción eficiente del carbón activado y la realización de las pruebas analíticas para todos los parámetros tanto de la NOM-001-SEMARNAT-2021 como de los 18 parámetros considerados para agua subterránea del ICA y de la Conagua (2013-2023). Una vez mejorando esta parte probablemente pudieran alcanzarse hasta tres ciclos de reutilización del material adsorbente que pudiera emplearse. Los compuestos gaseosos obtenidos de su reactivación podrían reasimilarse en la vegetación circundante promoviendo la recuperación de bosques y matorrales, como mejoradores de suelos ya que los materiales sólidos resultantes serían inocuos.

## Glosario

Siglas y términos	Significado
APHA	American Public Health Association (nombre abreviado de la APHA-AWWA-WEF, de los Estados Unidos)
BAC	Siglas para el bioadsorbente comercial de coco
BPM	Siglas para el bioadsorbente activado estructurado por bioadsorbente de piel de mango
ICA	Siglas para índice de calidad del agua usado en México desde 1970
ICTI	Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán, México
JCPDS	Siglas en inglés para <i>Joint Committee on Powder Diffraction Standards. Its cards are used to identify the phases present in XRD (X-ray diffraction) patterns</i> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Identify the peaks in your XRD pattern: Use a software program or manually identify the peaks in your XRD pattern</i></li> <li>2. <i>Determine the crystal structure: Based on the peak positions and intensities, you can determine the crystal structure of the material. You can use a crystallographic database such as the ICSD (Inorganic Crystal Structure Database) to search for potential matches</i></li> <li>3. <i>Obtain the JCPDS card: Once you have identified the crystal structure, you can request the JCPDS card from the ICDD (International Centre for Diffraction Data). You will need to provide the ICDD with the ICSD number or other identifying information about the crystal structure.</i></li> </ol>

Siglas y términos	Significado
	<p>Traducción al español: Las tarjetas del Comité Conjunto sobre Estándares de Difracción de Polvos se utilizan para identificar las fases presentes en los patrones <i>XRD</i> (difracción de rayos X).</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identifique los picos en su patrón <i>XRD</i>: utilice un programa de software o identifique manualmente los picos en su patrón <i>XRD</i></li> <li>2. Determine la estructura cristalina: basándose en las posiciones e intensidades de los picos, puede determinar la estructura cristalina del material. Puede utilizar una base de datos cristalográfica como <i>ICSD</i> (base de datos de estructura de cristal inorgánico) para buscar posibles coincidencias</li> <li>3. Obtenga la tarjeta <i>JCPDS</i>: Una vez que haya identificado la estructura cristalina, puede solicitar la tarjeta <i>JCPDS</i> al <i>ICDD</i> (Centro Internacional de Datos de Difracción). Deberá proporcionar al <i>ICDD</i> el número <i>ICSD</i> u otra información de identificación sobre la estructura cristalina.</li> </ol> <p><a href="https://www.researchgate.net/post/Can_someone_here_help_me_obtain_JCPD_S_card_for_my_XRD_data#:~:text=JCPDS%20(Joint%20Committee%20on%20Powder,X%20Dray%20diffraction)%20patterns">https://www.researchgate.net/post/Can_someone_here_help_me_obtain_JCPD_S_card_for_my_XRD_data#:~:text=JCPDS%20(Joint%20Committee%20on%20Powder,X%20Dray%20diffraction)%20patterns</a></p>
NMX	Acrónimo para Norma Mexicana (no obligatoria)
NOM	Acrónimo para Norma Oficial Mexicana (obligatoria)
ODS	Objetivos para el desarrollo sustentable de la Organización de las Naciones Unidas
PTAR	Acrónimo para plantas de tratamiento de aguas residuales
UNAM-DGAPA-	Siglas de Universidad Nacional Autónoma de México-Dirección General de
PAPIIT	Asuntos del Personal Académico-Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica

## Reconocimientos

La autora Sayra Orozco agradece a CONAHCYT por la Beca de Consolidación M1 and M2 (I1200/320/2022-I1200/331/2023). El autor Michel Rivero agradece a la UNAM-DGAPA-PAPIIT Proyecto IA103623 y al ICTI proyecto FCCHTI23-ME-4.1.-0027 por el apoyo financiero parcial.

## Referencias

- Adame, L., Cubero, B. 2024. HR Ratings comenta sobre el estrés hídrico y sus principales causas en México. 1 <https://www.fao.org/aquastat/en/>
- APHA-AWWA-WEF, 2022. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 24th Edition. American Public Health Association-American Water Works Association-Water Environment Federation. Lipps, W.C., Braun-Howland, E.B., Baxter, T.E., eds. Washington, D.C. Estados Unidos.
- Capote, L., Tarcisio, J., Matute, P., Saida, B., Rojas, V., Jesús, R. 2015. Determinación de la dureza total en agua con EDTA empleando una solución amortiguadora inodora de borato. Revista del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel. 46(1-2):25-37. Recuperado en 06 de noviembre de 2024, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-04772015000100003&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772015000100003&lng=es&tlng=es)
- Conagua. 2013-2023. Indicadores de calidad del agua de pozos (agua subterránea). <https://www.gob.mx/conagua/es/articulos/indicadores-de-calidad-del-agua?idiom=es>
- DOF. 2012. Norma Mexicana NMX-AA-030/1-SCFI-2012, Norma mexicana que establece un método para medir la demanda química de oxígeno (DQO) en el agua, <https://www.dof.gob.mx/>
- DOF. 2021. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, renovando aspectos técnicos que, por el transcurso del tiempo, esta última ya no cumplía. <https://www.dof.gob.mx/>

- DOF. 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen<sup>6</sup> en servicios al público. <https://www.dof.gob.mx/>
- DOF. 2001. NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166794/NMX-AA-079-SCFI-2001.pdf>
- Espinosa-Aquino, B., Martínez-y-Moreno, G.J., Durán-de-Bazúa, C., Mendoza-Hernández, A., Méndez-Mendoza, J., Contreras-González, E. 1999. Uso de energías combinadas, solar y de gas LP, para la conservación de frutas (Caso: Mango petacón). *Rev. IMIQ*, 40(10-11):23-26. ISSN 0188-7319.
- Espinosa-Aquino, B., Méndez-Mendoza, J., Durán-Domínguez, M.d.C. 2011. CÁMARA AEROTÉRMICA. Patente Núm. 392970. Solicitud de Registro: Diciembre 13, 2011 en la Oficina Regional Centro, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y Facultad de Química, UNAM. Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) **MX/e/2011/089839**. Folio MX/a/2011/013387, Dirección General de Inventiones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Otorgada el 04 de abril de 2022. Ciudad de México, México.
- Hach. 2024. Organic Carbon, Total (TOC), HR Direct Method 10128, Test 'N Tube. <https://latam.hach.com/tnt-para-toc-metodo-de-purga-100-a-700-mg-l-c/product-downloads?id=54617162663>
- Hanna Instruments. 2017a. Manual de instrucciones. HI 98129 - HI 98130. Medidores impermeables de pH, CE/TDS y temperatura. [https://h.hannainst.com.mx/descargas/?q=HI98129&catid=0&show\\_pagination=1&paged=1&limit=60](https://h.hannainst.com.mx/descargas/?q=HI98129&catid=0&show_pagination=1&paged=1&limit=60)
- Hanna Instruments. 2017b. Instruction manual. HI98300/1/2/3/4. Conductivity/TDS Meters with automatic temperature compensation. [https://h.hannainst.com.mx/descargas/?q=HI9142&catid=0&show\\_pagination=1&paged=1&limit=60](https://h.hannainst.com.mx/descargas/?q=HI9142&catid=0&show_pagination=1&paged=1&limit=60)
- GVR-4-68039-929-5. 2024 Avocado Market Size, Share & Trends Analysis Report By Form (Fresh, Processed), By Distribution Channel (B2B, B2C), By Region, And Segment Forecasts, 2023 – 2030. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/fresh-avocado-market-report>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2004). [http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/participacion-de-la-ciudadania/-/document\\_library\\_display/3DCVBB3LTRP3/view/105409131](http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/participacion-de-la-ciudadania/-/document_library_display/3DCVBB3LTRP3/view/105409131)
- Jaber, L., Backer, S.N., Laoui, T., Abumadi, F., Koujan, M.M.S., Khalil, A.K., Shanableh, A., Atieh, M.A. 2024. Recent trends in surface impregnation techniques on activated carbon for efficient pollutant removal from wastewater. *Desalination and Water Treatment*. 319: 100562. doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100562
- Jiménez-Bermúdez, M., Silva-Hernández, E.R., Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, C. 1995. Mango stone fat (*Mangifera indica* L.), a possible substitute for cacao fat (*Theobroma cacao*). In I CONGRESO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS. FEA/UNICAMP-CYTED-SBCTA-ITAL. Noviembre 5-9, 1995. Campinas, Sao Paulo, Brasil.
- Keppetipola, N.M., Dissanayake, M., Dissanayake, P., Karunarathne, B., Dourges, M.A., Talaga, D., Servant, L., Olivier, C., Toupance, T., Uchida, S., Tennakone, K., Asoka-Kumara, G.R., Cojokaru, L. 2021. Graphite-type activated carbon from coconut shell: A natural source for eco-friendly non-volatile storage devices. *Royal Society of Chemistry Advanced*. 11(5):2854-2865. doi: 10.1039/d0ra09182k
- Leite, A.J.B., Carmalin-Sophia, A., Thue, P.S., dos-Reis, G.S., Dias, S.L.P., Lima, E.C., Vaghetta, J.C.P., Pavan, F.A., Soares-de-Alencar, W. 2017. Activated carbon from avocado seeds for the removal of phenolic compounds from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*. 71:168-181. <https://doi.org/10.5004/dwt.2017.20540>
- Lorenzo-Santiago, M. A., Juárez-López, A. L., Rosas-Acevedo, J. L., Rendón-Villalobos, J. R., Toribio-Jiménez, J., & García-Hernández, E. 2018. Management and Final Disposal of Mango Waste in the State of Guerrero, Mexico: A Brief Review. *Journal of Agricultural Science*, 10(34). <https://doi.org/10.5539/jas.v10n12p34>
- Man, K.L., Ridzuan, Z. 2008. Production of activated carbon from sawdust using fluidized bed reactor. International Conference on Environment, ICENV, 2008. <https://www.semanticscholar.org/paper/PRODUCTION-OF-ACTIVATED-CARBON-FROM-SAWDUST-USING-Lam-Zakaria/cb5c70ac51ce90fb8d1d8d257e4a4b865153fbd6>
- Martínez-y-Moreno, G.J., Espinosa-Aquino, B., Durán-de-Bazúa, C. 1995. Propuesta de la utilización de energía combinada solar y gas LP, en la conservación de frutas (Caso particular: mango). En Memoria de la XIX Semana Nacional de Energía Solar. Pub. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Pp. 61-64. Octubre 2-6. La Paz, Baja California Sur, México.
- Mubarak, M.F., Zayed, A.M., Ahmed, H.A. 2022. Activated Carbon/Carborundum@Microcrystalline Cellulose core shell nano-composite: Synthesis, characterization and application for heavy metals adsorption from aqueous solutions. *Journal of Industrial Crops and Products*. 182: 114896. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114896>
- Oginni, Tosin, Tingi, Kaushlendra, Oporto, Gloria, Dawson-Andoh, Ben, McDonald, Louis, Sabolsky, Edward. (2019). Influence of one-step and two-step KOH activation on activated carbon characteristics. *Bioresource Technology Reports*. 7: 100266. 10.1016/j.biteb.2019.100266.
- Oladimeji, T.E., B.O., Odunoye, B.O., Elehinafe, F.B., Obanla, O.R., Odunlami, O.A. 2021. Production of activated carbon from sawdust and its efficiency in the treatment of sewage water. *Heliyon*. 7(1): e05960. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e05960>.
- ONU-Habitat y OMS. 2021. Progress on wastewater treatment – Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.3.1. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS). Ginebra, Suiza.
- Orozco, S., Montiel, E., Valencia, J., Espino, R., Guerra, M.C., Chávez, J. Apolinar, M. Rivero. 2024. Effective RhB dye removal using sustainable natural bioadsorbents synthesized from avocado seed and skin. *Water Air Soil Pollut*. 235(155) <https://doi.org/10.1007/s11270-024-06952-6>
- Orozco-Cerros, S.L., Espino-Valencia, J., López-Sosa, L.B., Rivero-Corona, M.A. 2024. Bio-adsorbente natural a partir de piel de aguacate para la remoción de un colorante catiónico. *Ambiens Techné et Scientia México*. Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, A.C., ISSN 2954-3622, 12-1 (77-94).

<sup>6</sup> Reusen no existe. Sería reutilicen o, en todo caso, reusen para romper el diptongo [Nota de los(as) editores(as)]



- 
- PNH. 2020-2024. Programa Nacional Hídrico, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Comisión Nacional del Agua Disponible en [gob.mx/semarnatgob.mx/Conagua](http://gob.mx/semarnatgob.mx/Conagua)
- Rajan, M.J., Anish, C.I. 2024. Role of activated carbon in water treatment. In *Water Quality – New Perspectives*. Dincer, S., Takci, H.A.M., Ozdeneffe, M.S., eds. Chapter 3. IntechOpen. ISBN 978-1-83969-010-5, ISBN 978-1-83969-009-9. doi: 10.5772/intechopen.108349
- SEMARNAT. 2013. Compendio de Estadísticas Ambientales Edición 2013, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio\\_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx\\_8080/ibi\\_apps/WFServlet28b9.html](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2013/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet28b9.html)
- Solís-Fuentes, J.A. 1998. El aprovechamiento de residuos sólidos y líquidos de la agroindustria alimentaria, cinco ejemplos. Tesis de Maestría en Ciencia de los Alimentos (Ingeniería). Facultad de Química, UNAM. Defensa: Abril 3, 1998. Ciudad de México, México. [132.248.9.195/pdbis/259600/Index.html](http://132.248.9.195/pdbis/259600/Index.html)
- Solís-Fuentes, J.A. 2003. Cinética de fusión-cristalización y conducta polimórfica de triacilglicéridos de grasas de fuentes no convencionales. Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas (Ingeniería Química). UNAM. Defensa: Noviembre 12, 2003. Ciudad de México. <http://132.248.9.195/ppt2002/0324126/Index.html>
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2003. Characterization of eutectic mixtures of different natural fat blends by thermal analysis. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 105(12):742-748. ISSN (printed): 1438-7697, Online ISSN: 1438-9312. Redes internacionales: <http://wenku.baidu.com/view/72c872ef998fcc22bcd10dea>
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.C. 2004. Mango seed uses: Thermal behaviour of mango seed almond fat and its mixtures with cocoa butter. *Bioresource Technology.* 92(1):71-78.
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.C. 2006. Ecomaterials: Holistic recovery of mango seeds to produce paper and carton from pericarp and mango almond fat to substitute cacao butterfat. In *XV International Materials Research Congress*. Agosto 20-24, 2006. Ciudad de México D.F., México.
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2011. Mango (*Mangifera indica* L.) Seed and Its Fats. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. Eds. Preedy, V.R., Watson, R.R., Patel, V.B., eds. Chapter 88. Editorial Project Management, Life Sciences, Elsevier, ISBN 9780123756886. Academic Press (imprint of Elsevier). 1a ed. Pp. 741-748. London, Burlington, San Diego.
- Solís-Fuentes, J.A., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2020. Mango Seed: Mango (*Mangifera indica* L.) Seed and Its Fats. In *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*. Overview and General Themes. Preedy, V.R., Watson, R.R., eds. Chapter 8. Editorial Project Management, Life Sciences, Elsevier. ISBN 978-0-12-818553-7. London, San Diego, Cambridge, Kidlington, Oxford: Academic Press (imprint of Elsevier). 2ª ed. Pp. 79-90 (2020). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818553-7.00001-2>
- Solís-Fuentes, J.A., Hernández-Medel, M.d.R., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2004. Vegetable fat characterization by DSC and X-Ray diffraction techniques / Case: Mango (*Mangifera indica*) almond fat. In *XIII International Materials Research Congress 2004*. Agosto 22-27, 2004. Cancún, Q.R. México.
- Solís-Fuentes, J.A., Hernández-Medel, M.d.R., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2007a. Determination of the predominant polymorphic form of mango (*Mangifera indica*) almond fat by differential scanning calorimetry and X-ray diffraction. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 107(6):395-401.
- Solís-Fuentes, J.A., Hernández-Medel, M.d.R., Durán-de-Bazúa, M.d.C. 2007b. Isothermal crystallization kinetics of mango (*Mangifera indica*) almond seed fat. *J. Appl. Sci.* 7(11):1538-1542. ISSN (printed): 1812-5654. ISSN (electronic): 1812-5662. <http://www.docsdrive.com/pdfs/ansinet/jas/2007/1538-1542.pdf>
- Solís-Fuentes, J.A., Tapia-Santos, M., Fernández-Suárez, A.D. Álvarez-Reyes, A.R., Hernández-Medel, R., Durán-de-Bazúa, C. 2006. Residuos agroindustriales, revaloración de las semillas de mango y mamey / *Agroindustrial residues, re-valorization of mango and mamey seeds*. Vol. 8, Serie: Tecnologías más Limpias / Cleaner Technologies. Pub. Prog. Ing. Quím. Amb. y de Quím. Amb. 235 pags. Facultad de Química, UNAM. ISBN 970-32-2544-6. 50 ejemplares/exemplars, 1ª Ed. (2004). Disco compacto 50 ejemplares/exemplars, 2ª Ed. (2006). Ciudad de México D.F., México.
- Wibawa, P.J., Nur, M., Asy'ari, M., Nur, H. 2020. SEM, XRD and FTIR analyses of both ultrasonic and heat generated activated carbon black microstructures. *Heliyon.* 6(3):e03546. doi:[doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03546](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03546)