

## Producción de biocarbón empleando biomasa residual no convencional para aplicaciones en remediación ambiental

Ayala Camarena Daniela<sup>1</sup>, Ortega Méndez Norma<sup>2</sup>, Ramos Esquivel Fernanda Madai<sup>3</sup>, Vázquez-Núñez Edgar<sup>3,\*</sup>

<sup>1</sup> División de Ciencias de la Salud e Ingenierías, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salatierra, Calle Mutualismo S/N 38060, Celaya, Guanajuato, México

<sup>2</sup> División de Ingenierías, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato, Av. Juárez 77, C.P. 36000, Guanajuato, México.

<sup>3</sup> División de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica, Lomas de Bosque 103, 37150, León, Guanajuato, México

\* Correspondencia del autor: edgar.vazquez@ugto.mx

### Resumen

El deterioro ambiental se encuentra en una situación grave, y es urgente restaurar el medio ambiente. El biocarbón es un producto de pirólisis rico en carbono de la materia prima, que ha despertado una gran preocupación debido a su amplio potencial de aplicación para eliminar contaminantes y rehabilitar el medio ambiente. Este trabajo tiene por objetivo la producción de biocarbón a partir de biomasa vegetal de *Ricinus communis* para analizar de manera cuantitativa la capacidad de adsorción hacia los contaminantes orgánicos en aguas residuales sintéticas.

**Palabras clave:** Adsorción, Agua Residual Sintética, Biocarbón, Biomasa

### Introducción

El biocarbón es el producto de procesos de carbonización de biomasa, principalmente de origen vegetal, la cual ofrece ventajas significativas en comparación con otras fuentes que también pueden ser empleadas como materia prima, por ejemplo; alta renovabilidad, alta disponibilidad y accesibilidad. Dadas las características del biocarbón producido a partir de biomasa vegetal i.e. altos niveles de adsorción, alto valor de área superficial, presencia de grupos funcionales, alto grado de porosidad, alta capacidad de intercambio catiónico y estructura estable<sup>1</sup>, puede representar una alternativa sostenible para remediar sitios afectados con diferentes tipos de contaminantes, y además, ofrecer la posibilidad de mejorar el suelo impactando en la productividad agrícola y la recuperación de sitios degradados, favorecer el secuestro de carbono, así como el compostaje de desechos sólidos orgánicos.

El biocarbón se produce a través de los procesos termoquímicos de la biomasa en ausencia de oxígeno. Los procesos termoquímicos de producción de biocarbón se agrupan en subclases según la temperatura, velocidad de calentamiento, presión y tiempo de residencia utilizados, es decir, pirólisis lento, pirólisis rápido, carbonización hidrotermal (HTC), gasificación, carbonización instantánea y torrefacción<sup>2</sup>. En todos estos procesos influye un factor determinante de la capacidad de remoción de biocarbón que es la temperatura. En general, el biocarbón producido a alta temperatura tiene una mayor superficie y contenido de carbono, principalmente debido al aumento del volumen de microporos causado por la eliminación de compuestos orgánicos volátiles a alta temperatura<sup>1</sup>. En consecuencia, es crucial elegir la materia prima adecuada, la temperatura y tiempo de residencia para producir biocarbón con altos rendimientos.

La materia prima es un aspecto importante que hay que tener en cuenta para producir biocarbón, se puede producir biocarbón a partir de diversas materias primas como rastrojo de maíz, madera de pino, lodos de depuradora, cáscara de arroz, madera de álamo, paja de trigo y biomasa de tipo no convencional. Para la ejecución de este proyecto se aprovechó como materia prima la cáscara de la vaina residual de la higuera (*Ricinus communis*), la cual fue considerada debido a su gran abundancia, disponibilidad, altos rendimientos y por la reducida literatura científica disponible.

## Materiales y métodos

### 1. Recolección y acondicionamiento de la biomasa

#### 1.1 Recolección

Se realizó la recolección de la especie vegetal *Ricinus communis*, dentro de los jardines de la División de Ciencias e Ingenierías, Sede Campestre, Universidad de Guanajuato, Campus León.

#### 1.2 Secado

La biomasa recolectada se secó por un periodo de 24 horas en exposición directa bajo el sol. Se procedió a realizar la separación manual vaina-semilla. Finalmente, la vaina se llevó nuevamente a un proceso de secado por un periodo de 24 horas.

#### 1.3 Molienda

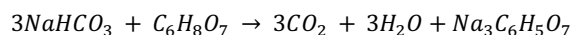
La biomasa seca se sometió a un proceso de reducción de tamaño, empleando un molino para grano de café de la marca Krups. La biomasa reducida de tamaño se almacenó en recipientes de vidrio para su posterior uso.

### 2. Manufactura del biocarbón

#### 2.1 Pirólisis

La biomasa se expuso a un proceso de pirólisis, utilizando una Mufla, marca Felisa, modelo FE-340. Se realizaron pirolisis de tipo lento, provenientes de la combinación de dos diferentes tiempos de residencia (1 hora, 3 horas) y tres diferentes temperaturas (300°C, 500°C y 700°C).

La reducción del oxígeno durante el proceso de pirolisis se hizo favoreciendo condiciones ambientales inertes, bajo la siguiente reacción:



El dióxido de carbono desplazó el oxígeno dentro de la cámara de pirolisis, favoreciendo una atmósfera bajo condiciones reductoras.

#### 2.2 Separación de ceniza

El biocarbón obtenido se enfrió a temperatura ambiente y posteriormente se sometió a procesos de lavado, mediante filtración por gravedad para eliminar la ceniza residual del proceso.

### 3. Caracterización del biocarbón

Se decidió realizar la caracterización por el método de espectrometría infrarroja de la vaina, así el biocarbón manufacturado a 1 h 500 °C y 700 °C, y 3 h 300 °C, empleando un espectrómetro FT-NIR Nicolet iS5N de Thermo Fisher Scientific.

### 4. Preparación del agua residual sintética

Se decidió utilizar una solución de 20 mg/L de azul de metileno, dado que dicho compuesto orgánico se ha

utilizado de manera recurrente como un compuesto útil para realizar pruebas de absorción y remoción.

Se elaboró una curva estándar a partir de la dilución de una solución stock de 20 mg/L para llevarse a 15 mg/L, 10 mg/L y 5 mg/L, empleando un equipo de espectrofotometría, marca Eppendorf, modelo BioSpectrómetro Cinético. Esta solución se utilizó para alimentar las columnas de adsorción, cuyo empaque se encuentra compuesto por el biocarbón facturado.

#### 5. Preparación de las columnas de adsorción

Se utilizó un tubo tipo Falcon de 15 mL, fondo cónico, marca Nest; en el cual se colocaron 2 cm (equivalente a 1 gramo de Tereftalato de Polietileno (PET) triturado con un tamaño promedio de 1 mm) en la parte inferior.

Las columnas se cargaron con diferente cantidad de biocarbón i.e.; 0.5 g y 1.5 g de biocarbón por columna. La solución de azul de metileno (50 mL) se cargó en una bureta de 25 mL, la cual fue adicionada por goteo en la parte superior de la columna a razón de 50 mL/30min. La columna contenía perforaciones en la parte inferior, en donde el líquido filtrado se recolectó en vasos de precipitado, para realizar posteriormente la determinación espectrofotométrica. Esta operación se realizó por triplicado para cada unidad experimental.

#### 6. Determinación del porcentaje de remoción

Posterior al proceso de filtración del líquido problema, el líquido recolectado fue medido por espectrofotometría a una longitud de onda de 658 nm, para así obtener el valor de la concentración, haciendo uso como referencia de la curva estándar.

Para el cálculo del porcentaje de remoción, se empleó la formula siguiente:

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{Concentración}_{\text{inicial}} - \text{Concentración}_{\text{final}}}{\text{Concentración}_{\text{inicial}}} \cdot 100$$

## Resultados y discusiones

### 1. Recolección y acondicionamiento



Ilustración 1: Planta higuera (Ricinus communis).



Ilustración 2: Vaina de la higuera (Ricinus communis).



Ilustración 3: Biomasa compactada, lista para entrar al proceso de pirólisis.

## 2. Manufactura del biocarbón

Se pudo analizar de manera cualitativa al finalizar el proceso de pirolisis, que la manufactura del biocarbón a temperaturas altas y tiempos de residencia mayores a las 3 horas, generaba una cantidad considerable de ceniza, por lo que se propuso trabajar únicamente en el tiempo de una hora a 500 °C y 700 °C, además se observó que la manufactura de biocarbón en una hora a 300 °C no lograba consolidarse en su totalidad, por lo cual se decidió descartar.



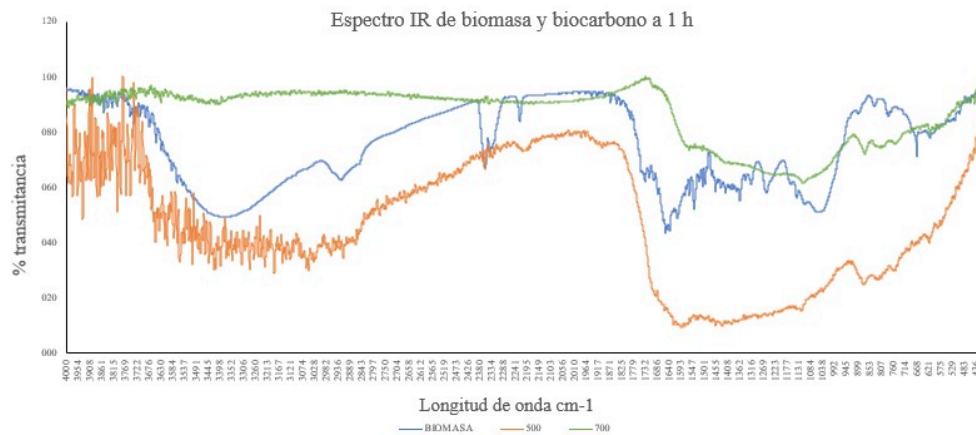
Ilustración 2.1: Manufactura del biocarbón.



Ilustración 2.2: Biocarbón a 700°C a 1 hora.

## 3. Caracterización del biocarbón

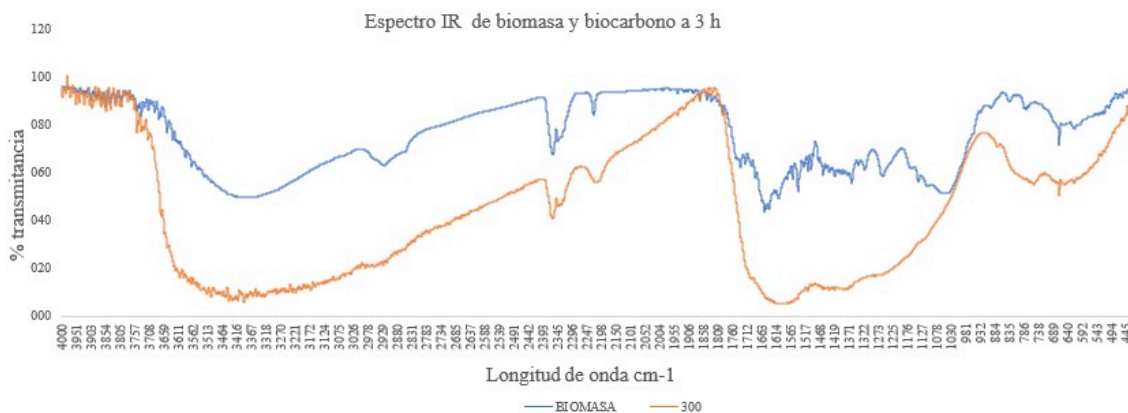
Los grupos funcionales alifáticos presentes en los biocarbones tienen un efecto positivo en su capacidad de adsorción. El análisis FTIR como se muestra en la gráfica 3.1, muestra la disminución de la hidrofobicidad en los biocarbones obtenidos a mayor temperatura, debido a la pérdida de los picos correspondientes a grupos alifáticos C-H a 2975  $\text{cm}^{-1}$ . Por otro lado, los picos correspondientes a compuestos aromáticos C=C, C=O, C-N, encontrados en una longitud de onda de 1600  $\text{cm}^{-1}$ , aumentan a 300°C debido a la formación de cetonas, quinonas y otros compuestos aromáticos, para disminuir a 700°C. El pico C-O (1085-1210  $\text{cm}^{-1}$ ) se incrementa con la temperatura mostrando la formación de celulosa, hemicelulosa y lignina<sup>4</sup>.



Gráfica 3.1: Espectro IR de biomasa y biocarbón a 500°C y 700°C a 1 hora.

Tabla 3.1: Grupos funcionales identificados en espectro IR de grafica 3.1

	Longitud de onda (cm-1)	Grupo funcional	Observaciones
<b>B i o m a s a</b>	3378	O-H	Unión intermolecular
	2920	C-H	
	2224	CEC	Disustituido
	1733	C=O	
	1653	C=N	
	1539	N-O	
	1040	S=O	
	895	C=C	Vinilideno
<b>500 °C</b>	833	C=C	Trisustituido
	2914	C-H	
	2202	CEC	Disustituido
	1590	N-H	
	1121	C-O	Alcohol secundario
<b>700 °C</b>	869	C-H	1,2,4-trisustituido
	1700	C=O	Acido conjugado
	1105	C-O	Alcohol secundario
	872	C-H	1,2,4-trisustituido
	813	C=C	Trisustituido
	755	C-H	Monosustituido

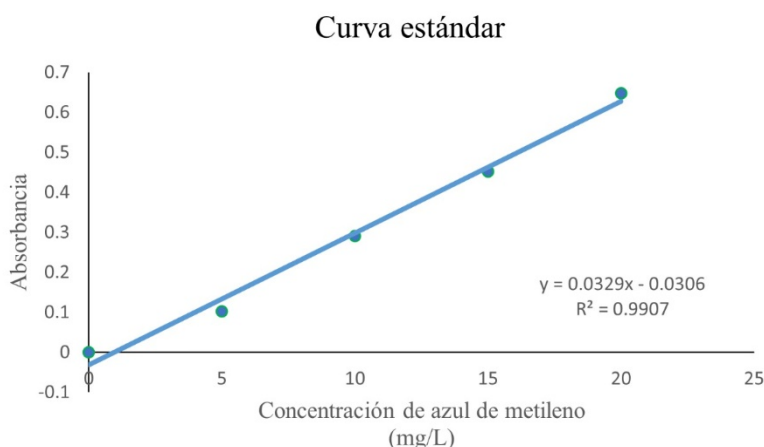


Gráfica 3.2: Espectro IR de biomasa y biocarbón a 300°C a 3 horas

Tabla 3.2: Grupos funcionales identificados en espectro IR de gráfica 3.2

	Longitud de onda (cm-1)	Grupo funcional	Observaciones
<b>300 °C</b>	2211	CEC	Disustituido
	1588	N-H	
	873	C-H	1,2,3-trisustituido
	751	C-H	1,2-disustituido
	668	C=C	Disustituido (cis)

#### 4. Preparación del agua residual sintética



Gráfica 3.1: Curva estándar para la remoción de azul de metileno

Se puede observar a través del gráfico 3.1 que existe una proporción directa entre la concentración y la absorbancia de azul de metileno, es decir a mayor concentración existe una mayor absorbancia al contaminante. Al realizar la curva patrón, se puede apreciar que varía linealmente en función del azul de metileno, tal como se esperaba aun cuando la tendencia no es exactamente una recta, las desviaciones de la linealidad se pueden deber a errores en la preparación de las soluciones patrón, donde estas afectan directamente la concentración de las muestras, afectando de manera significativa la tendencia de la curva estándar.

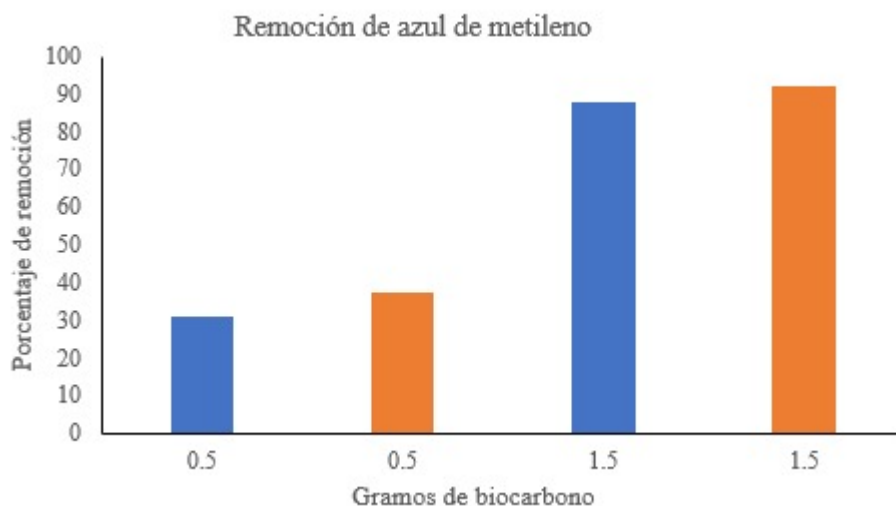
#### 5. Preparación de las columnas de adsorción y determinación del porcentaje de remoción

De acuerdo con los porcentajes obtenidos en la tabla 1, se puede deducir que cuando se tiene una mayor cantidad de biocarbón es posible remover un mayor porcentaje de contaminante. Con el fin de analizar el mayor porcentaje de adsorción de acuerdo con las cantidades utilizadas (0.5 y 1.5 g), se decidieron realizar dos ciclos adicionales, constatando que el porcentaje de remoción incremento en un 6.1% y 4.5%, respectivamente.

Es importante mencionar que, cuando se tienen cantidades saturadas de biocarbón, los ciclos adicionales no resultan del todo relevantes, debido a que no se tiene un incremento significativo en el porcentaje de remoción.

**Tabla 5.1.** Porcentaje de remoción de azul de metileno para 0.5 g y 1.5 g de biocarbón.

Porcentaje de remoción (%)			
0.5 g de biocarbón en columna		1.5 g de biocarbón en columna	
Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 1	Ciclo 2
30.9	37.05	87.8	92.3



Gráfica 5.1: Representación gráfica de los porcentajes de remoción

## Conclusiones

Fue posible manufacturar biocarbón empleando biomasa vegetal de *Ricinus communis* (higuerilla) como materia prima, además se observaron diferencias entre el biocarbón manufacturado a diferentes temperaturas (300°C, 500°C y 700°C).

Se empleó el biocarbón manufacturado a 700°C a razón de 0.5 g y 1.5 g por columna de filtración. El porcentaje de remoción observado para la columna con 0.5 g fue de 37.05%, mientras que para la columna de 1.5 g fue de 92.3%.

Los materiales orgánicos resultan ser excelentes candidatos para la producción de biocarbón. Las condiciones óptimas de proceso para la obtención de biocarbón a partir de biomasa de origen vegetal *Ricinus communis*, comúnmente llamado higuerilla, se dieron a una temperatura de 500°C y 700°C, en un tiempo de una hora.

De esta manera se confirma que el biocarbón manufacturado con biomasa de origen vegetal de *Ricinus communis* es viable para poder ser utilizado como material de adsorción para contaminantes orgánicos presentes en el agua.

## Referencias

- J. Wang, S. Wang, Preparation, modification and environmental application of biochar: a review, *Journal of Cleaner Production* 227 (2019) 1002-1022.
- C. Zhang, L. Liu, M. Zhao, H. Rong, Y. Xu, The environmental characteristics and applications of biochar, *Environmental Science and Pollution Research* 25(22) (2018) 21525-21534.
- Chen, T., Zhang, Y., Wang, H., Lu, W., Zhou, Z., Zhang, Y., & Ren, L. (2014). Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. *Bioresource technology*, 164, 47-54.
- Carrillo, J. M. (Ed.). (2015). *Anuario de Jóvenes Investigadores* (Universidad Politécnica de Cartagena ed., Vol. 8). AJICT.
- Merck (2022). IR Spectrum Table & Chart. Tabla 1 y 2 <https://www.sigmaaldrich.com/NL/en/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table>