

# Caracterización de material poroso tipo carbón, obtenido de residuos orgánicos de cocina, pirolizados a 550 °C, utilizados adicionalmente en ensayos como adsorbentes de contaminantes-colorantes textiles

## Characterization of porous carbon-type material, obtained from organic kitchen waste, pyrolyzed at 550 °C, additionally used in tests as adsorbents for pollutants-textile dyes

Y. Márquez-García <sup>a</sup>, A. Trujillo-Estrada <sup>a,b,\*</sup>, V. García-Hernández, V. E. Reyes-Cruz <sup>a</sup>  
J. A. Cobos-Murcia <sup>a</sup>, G. Urbano-Reyes <sup>a</sup>

<sup>a</sup>Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184 Pachuca, Hidalgo, México.

<sup>b</sup>Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Departamento de Cátedras, 03940 Ciudad de México, México.

### Resumen

En este trabajo se realiza la caracterización de un material poroso, obtenido de residuos orgánicos de cocina, pirolizado a 550°C; se hace por medio de Microscopía Electrónica de Barrido MEB, Difracción de Rayos X, DRX y Espectroscopía de Energía Dispersiva, EDS, lo que nos muestra que se obtiene un material poroso con capacidad de adsorción debido a los carbonos y feldespatos encontrados. Además, el material se utiliza en ensayos para el retiro de colorantes textiles en efluentes contaminados como son negro, azul mezclilla y rojo granada. Los resultados de análisis con espectroscopía de absorción en rangos de longitud de onda UVVis (Ultra violeta-visible) indican que el material retiró 99% del colorante textil. Además, se utilizan 2 modelos de isoterma de adsorción Langmuir y Freundlich.

### Palabras Clave:

Efluentes textiles, adsorción, colorantes.

### Abstract

In this work, the characterization of a porous material obtained from organic kitchen waste, pyrolyzed at 550°C, is carried out by means of Scanning Electron Microscopy SEM, X-Ray Diffraction XRD and Energy Dispersive Spectroscopy EDS, which shows that a porous material with adsorption capacity is obtained due to the carbons and feldspars found. In addition, the material is used in tests for the removal of textile dyes in contaminated effluents such as black, denim blue and pomegranate red. The results of analysis with absorption spectroscopy in UVVis wavelength ranges (Ultra violet-visible) indicate that the material removed 99% of the textile dye. In addition, 2 models of Langmuir and Freundlich adsorption isotherms are used.

### Keywords:

Textile effluents, adsorption, dyes.

## 1. Introducción

La industria textil es una de las más importantes de nuestro país. Sin embargo, es una de las industrias con mayor consumo de agua y las aguas residuales que se generan contienen un gran número de contaminantes de diferentes naturalezas. Entre los contaminantes de diferente naturaleza se destacan los colorantes. En el proceso de teñido se generan una gran cantidad de efluentes con colorantes ya que alrededor del 30% de estos compuestos se pierden debido a las ineficiencias del proceso de teñido y son descargados a los efluentes.

Estos compuestos se diseñan para ser altamente resistentes, incluso a la degradación microbiana, por lo que son difíciles de eliminar en las plantas de tratamiento convencionales (Cortazar, 2007).

Los principales colorantes utilizados a nivel mundial en la industria textil, papelería, alimenticia, cosmética y farmacéutica son los del tipo azo, de los que existen aproximadamente 3000 tipos.

Los colorantes azoicos, representan más del 50% de la totalidad de colorantes utilizados en el mundo, siendo compuestos químicos xenobióticos caracterizados por la presencia del grupo cromóforo azo en su estructura molecular, constituido por dos

\*Autor para la correspondencia: [ariadnat@gmail.com](mailto:ariadnat@gmail.com)

Correo electrónico: [ma407844@uaeh.edu.mx](mailto:ma407844@uaeh.edu.mx) (Y. Márquez-García), [ariadnat@gmail.com](mailto:ariadnat@gmail.com) (A. Trujillo-Estrada), [veronica\\_garcia2313@uaeh.edu.mx](mailto:veronica_garcia2313@uaeh.edu.mx) (V. García-Hernández), [reyescruz16@yahoo.com](mailto:reyescruz16@yahoo.com) (Víctor E. Reyes Cruz), [catseven78@gmail.com](mailto:catseven78@gmail.com) (J. A. Cobos-Murcia), [gustavo\\_urbano@uaeh.edu.mx](mailto:gustavo_urbano@uaeh.edu.mx) (G. Urbano Reyes).

átomos de nitrógeno unidos mediante un doble enlace (Centeno Salcedo, 1997).

Los colorantes utilizados en la industria textil exhiben color debido a su capacidad para absorber la región visible (400-800 nm) del espectro (Wolfgang, 1987).

Los colorantes azo son resistentes a la biodegradación aerobia en plantas de tratamiento convencionales (Shaul et al., 1991), sin embargo, bajo condiciones anaeróbicas sufren fisión reductiva produciendo aminas aromáticas incoloras, que generalmente requieren condiciones aerobias para su biodegradación (Ekici et al., 2021). Los procesos anaerobios y aerobios son complementarios, de forma independiente ninguno es suficiente para eliminar la toxicidad de las aguas residuales textiles (Frijters et al., 2006).

Las tecnologías más actuales usadas para el tratamiento de agua contaminada son: tratamiento biológico usando microorganismos, usando plantas: las plantas al ser expuestas a residuos pueden presentar diferentes respuestas fisiológicas, floculación o precipitación, métodos electroquímicos PAO o TAO y osmosis (Trujillo, 2021).

La adsorción utilizando residuos de orgánicos como restos de coco, rosas, etc., y llevándolos a carbonizarse suelen ser un método usado por la abundancia de la materia prima y porque es ecológicamente aplicable, además de obtener buenos resultados para la adsorción de diferentes tipos de colorantes.

En este trabajo se usa la adsorción de los colorantes textiles, por medio de material poroso obtenido de residuos orgánicos procesados a 550°C durante 30 minutos, para retirar del efluente los colorantes contaminantes.

## 2. Metodología

### 2.1. Pruebas de adsorción con material poroso obtenido de residuos orgánicos.

#### 2.1.1 Recolección y preparación del material.

La obtención de la materia prima son los residuos de las cocinas locales considerando que se recolectaron 5 kilos de materia prima de 2 cocinas a la semana, estas pueden contener restos de frutas y verduras (como son cáscaras y huesos de todo tipo), además de restos de huesos de pollo y/o pescado.

Después se hace un proceso mecánico de molienda media-fina con agua desionizada (hasta un 35% por kilo de materia prima), realizado con un procesador industrial marca Bosstech modelo BSED-B2-B con una capacidad de 2 litros, una potencia de 350 Watts y características eléctricas de 120V~ 60Hz, con el propósito de minimizar el tamaño de la materia prima durante un tiempo aproximado de 30 segundos además de homogeneizar la misma, enseguida se usa un colador de abertura de 1mm para la eliminación del exceso de agua (hasta un 35%), esta dará una consistencia pastosa a la que llamaremos materia prima.

En un vial metálico de aproximadamente 200 g de capacidad, se llena con la materia prima, se cierra herméticamente con la tapa, para evitar que el oxígeno entre, se introducen en la mufla thermoline marca Thermo scientific modelo F6018 a 550°C durante 30 minutos.

Se obtiene un aproximado de 10 gramos por vial pirolizado de un material poroso que es sometido a un proceso de trituración manual en mortero de ágata, reduciendo el material poroso de un tamaño de partícula de 250µm realizado con un tamiz Mesh malla 60.

Se pesan 2g del material carbonizado y tamizado en una balanza granataria Marca OHAUS modelo Adventurer Pro, por triplicado para cada colorante utilizado.

### 2.2. Preparación de la solución.

Se prepara una solución con 1L de agua desionizada y 0.1 g de colorante textil comercial azul mezclilla marca "Mariposa" que tiene una composición anilina azul phtalo con fórmula  $C_{32}H_{25}N_3Na_2O_9S_3$ , se agita hasta disolver por completo el colorante.

Por separado se prepara una solución con 1L de agua desionizada y 0.1 g de colorante textil comercial negro marca "Mariposa" que tiene una composición de negro anilina con fórmula  $C_{66}H_{51}Cr_3N_{11}O_{12}$ , se agita hasta disolver por completo el colorante.

Finalmente, por separado se prepara una solución con 1 L de agua desionizada y 0.1 g de colorante textil comercial rojo granada marca "El caballito" con una composición de rojo 83 en un 25% con fórmula  $C_{24}H_{20}N_4O$ , amarillo 44 en un 25% con fórmula  $C_{34}H_{34}N_6Na_2O_8S_2$  y azul 200 en un 23% con fórmula  $C_{31}H_{37}N_3O_2S_2$ , se agita hasta disolver por completo el colorante.

### 2.3. Pruebas de adsorción de colorante y análisis de absorción de UV Vis.

Se preparan 3 columnas de filtración para cada colorante con 2g de material poroso en cada una. En 3 vasos de precipitado se agregan 10 mL de solución de cada color y se vierten en la columna de filtración, se le da tiempo al sistema para que pueda filtrar los 10 ml de la primera muestra, después de obtenidos los 10 ml de solución limpia de colorantes se vierte en un tubo de ensayo y se etiqueta, posteriormente se le agregan otros 10 ml de solución con colorante a cada columna y se aplica el mismo procedimiento, es decir que en cada columna se vierten ya 20 ml de solución con colorante contaminante inicial, se usa el mismo procedimiento para las soluciones de los 3 tipos de colorante, de modo que obtendremos 9 tubos de ensayo con diferente grado de contaminación de colorante.

Posterior a este procedimiento se somete a análisis de UV Vis realizado con un espectrofotómetro visible modelo VE-5000V marca Velab con un rango de longitud de onda de 325-1000nm para medir la absorbancia de las soluciones.

## 3. Resultados y discusión

Se realizó análisis de DRX con un difractor de rayos X de sobremesa modelo D2 Phaser a el material poroso obtenido a 550°C que se presenta en la figura 1, como se puede observar, el material presenta una media luna hasta aproximadamente 40° lo que nos muestra que es amorfo como se esperaba, debido a la calcinación lo que convierte al material en un material poroso con capacidad de adsorción, además contiene feldespatos de potasio, sodio y calcio, estos feldespatos permiten el intercambio iónico para que los colorantes azoicos queden atrapados en el material adsorbente.

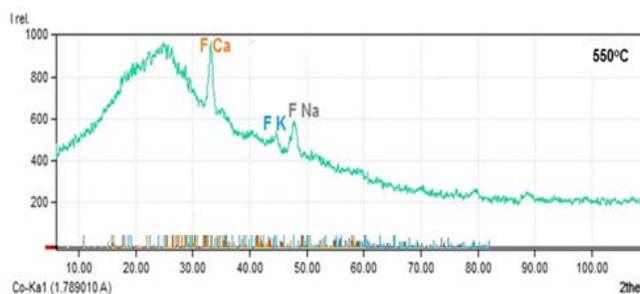
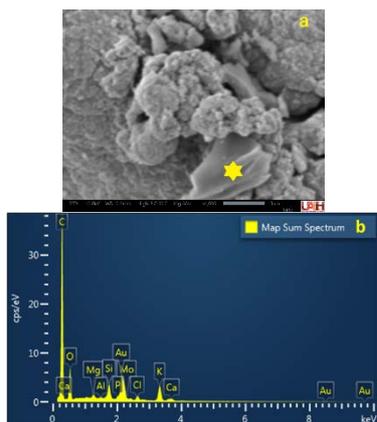


Figura 1: Espectro DRX para material pirolizado a 550°C.

En la figura 2 se presentan a) la micrografía del material poroso pirolizado a 550°C y un b) análisis EDS (espectroscopia de energía dispersiva) puntual, en la figura 2a se observa un material con una superficie amorfa debido al proceso de calcinación además de la no homogeneidad de la materia prima, sin embargo, el análisis puntual EDS que se muestra en la figura 2b se observa que el pico máximo pertenece al carbono, además que contiene Ca, Mg, Al, Si, Mo, K, P lo que hace posible la formación de los feldespatos que se mencionan en la figura 1. La tabla 1 obtenida del análisis EDS del material que se presenta en la figura 2b muestra que el 72.02 % del contenido es C, el 13.78 % es O, el K está presente con un 7.05%, y aunque los demás elementos se encuentran en menores proporciones permiten que se forme el material adsorbente.



**Figura 2:** a) Micrografía de material poroso pirolizado a 550°C, b) EDS para material poroso pirolizado a 550°C.

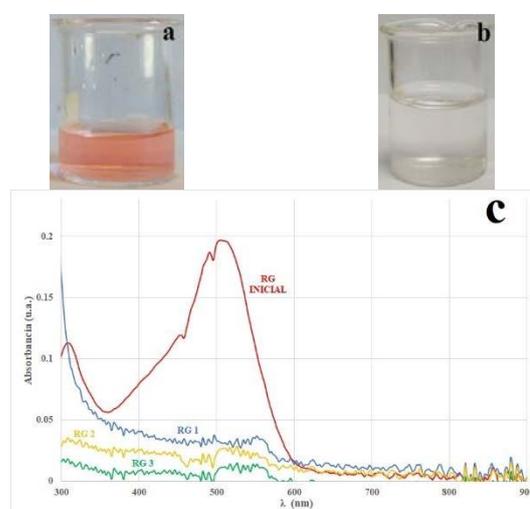
**Tabla 1:** Elementos presentes en el material poroso pirolizado a 550°C

Elemento	Wt%	Wt% Sigma
C	72.02	0.35
O	13.78	0.21
Mg	0.44	0.04
Al	0.12	0.04
Si	2.24	0.06
P	0.52	0.07
Cl	1.27	0.06
K	7.05	0.12
Ca	1.20	0.09
Mo	1.37	0.30
Total:	100.00	

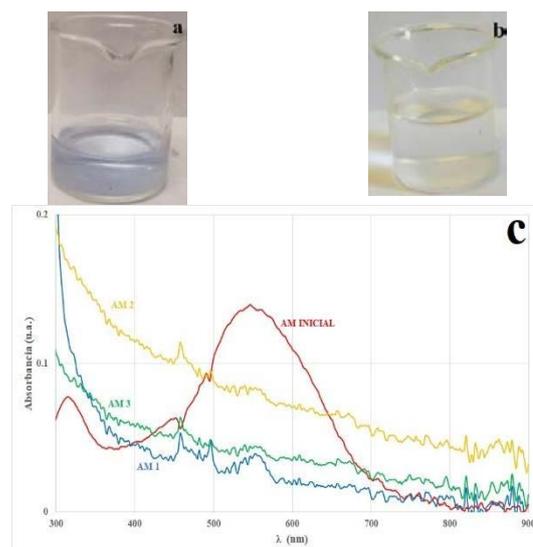
Se obtuvieron espectros de análisis de UV Vis para las soluciones iniciales y las soluciones resultantes del proceso las siguientes figuras muestran los resultados; en la figura 3 se muestra en la figura 3a la solución con colorante rojo granada inicial mientras que en la figura 3b el colorante es retirado del agua, en la figura 3c se muestra la gráfica de UVVis para la solución de rojo granada el pico mayor se encuentra en un intervalo de longitud de onda de 498 a 521 nm la absorbancia va de un 0.1969030 a un 0.0312154 u.a. para los primeros 10 ml RG (Rojo granada) 1, es decir que el color se retiró por completo de la solución usando el material poroso, además, para los 10 ml de la segunda muestra RG 2 la absorbancia fue de 0.0111665 u.a. el material retiró aún más colorante que en los primeros 10 ml, sin embargo para la tercera muestra de 10 ml RG 3 la absorbancia fue de 0.0263665 u.a. al ser mayor la absorbancia que en la muestra

RG 2 nos dice que se retiró menos colorante ya que la absorbancia es mayor.

En la figura 4a se muestra la solución con colorante azul mezclicilla inicial mientras que en la figura 4b el colorante es retirado del agua, en la figura 4c se muestra la gráfica de UVVis para la solución que el colorante es retirado del agua, en el caso del Azul Mezclicilla el pico mayor se encuentra en un intervalo de longitud de onda de 507 a 592 nm la absorbancia va de un 0.139716 a un 0.0377903 u.a. para los primeros 10 ml AM (Azul mezclicilla) 1, es decir que el color se retiró casi por completo de la solución usando el material poroso, además, para los 10 ml de la segunda muestra AM 2 la absorbancia fue de 0.0837708 u.a. el material retiró aproximadamente la mitad de colorante contenido en la muestra, sin embargo para la tercera muestra de 10 ml AM 3 la absorbancia fue de 0.0441726 u.a. al ser menor la absorbancia que en la muestra AM 2 nos dice que se retiró más colorante ya que la absorbancia es menor.



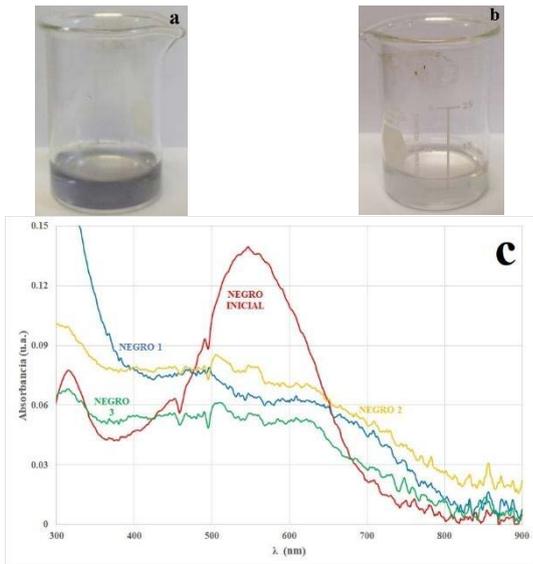
**Figura 3:** a) muestra inicial de rojo granada, b) muestra RG 3 rojo granada, c) Espectro UVVis para soluciones de colorante textil Rojo Granada.



**Figura 4:** a) muestra inicial de azul mezclicilla, b) muestra AM 3 azul mezclicilla, c) Espectro UVVis para soluciones de colorante textil Azul Mezclicilla.

En la figura 5a se muestra la solución con colorante negro inicial mientras que en la figura 5b el colorante es retirado del

agua, en la figura 3c se muestra la gráfica de UVVis para la solución se muestra que el colorante es retirado del agua, en el caso del Negro el pico mayor se encuentra en un intervalo de longitud de onda de 501 a 593 nm la absorbancia va de un 0.139051 a un 0.0655512 u.a. para los primeros 10 ml Negro 1, es decir que el color se retiró un poco más de la mitad el colorante en la solución usando el material poroso, además, para los 10 ml de la segunda muestra Negro 2 la absorbancia fue de 0.0798046 u.a. el material retiró aproximadamente más del colorante contenido en la muestra que en la muestra anterior, sin embargo para la tercera muestra de 10 ml Negro 3 la absorbancia fue de 0.0560636 u.a. al ser menor la absorbancia que en la muestra Negro 1 y 2 nos dice que se retiró más colorante ya que la absorbancia es menor.



**Figura 5:** a) muestra inicial de negro, b) muestra NEGRO 3 NEGRO, c) Espectro UVVis para soluciones de colorante textil Negro.

**4. Conclusiones**

Los análisis de UV VIS muestran que material poroso obtenido a 550 °C es un buen material adsorbente de colorantes textiles contaminantes, ya que quedan atrapados en la superficie del material. Además, utilizando los modelos teóricos de isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich se comprueba que el material es un excelente adsorbente.

Los análisis EDS dan como resultado que el material contiene un 72% de carbono y al incluir los demás elementos forman feldespatos que sirven para el intercambio iónico y coadyuvan a la limpieza del agua de colorantes textiles contaminantes.

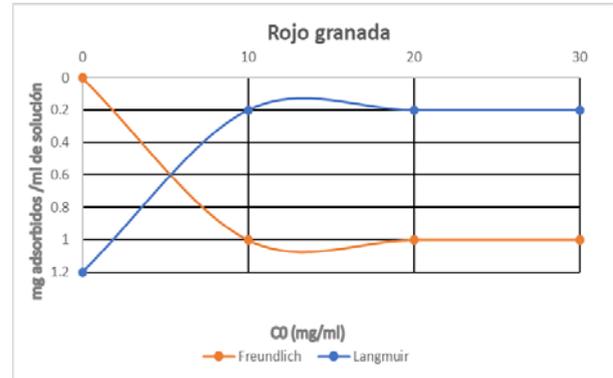
**5. Cálculos matemáticos**

El análisis de los datos de adsorción se calculó mediante las isotermas Langmuir y Freundlich, la isoterma Langmuir es un modelo teórico válido para la adsorción en una monocapa sobre una superficie completamente homogénea con un número finito de sitios idénticos y específicos de adsorción y con una interacción despreciable entre las moléculas y lo representa la ecuación (1) de Langmuir; mientras que el modelo de Freundlich es una ecuación empírica que no asume homogeneidad en la energía de los sitios en la superficie y sin límites de carga máxima de adsorción, y muestra una consistencia de una distribución exponencial de centros activos característicos de una superficie heterogénea, representada con la ecuación (2).

$$q_t = (C_0 - C_1) \frac{V}{W} \tag{1}$$

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}} \tag{2}$$

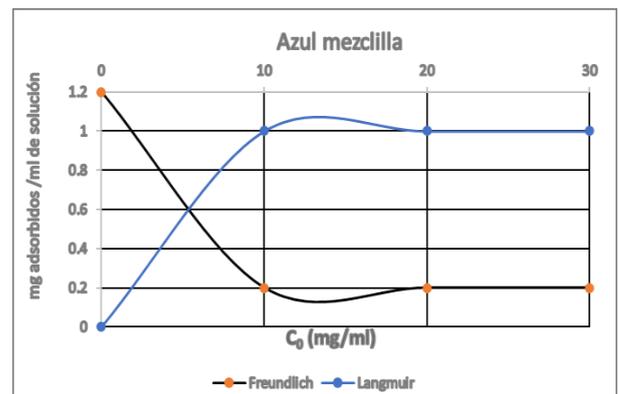
En las figuras 6, 7 y 8 se pueden observar las gráficas para las isotermas de adsorción, en cada una se observa un colorante diferente, para los dos modelos de isotermas, observando que ambas isotermas se adaptan de forma excelente, dejando ver que casi todas llegan a la unidad, es decir que el sistema del material poroso funciona como adsorbente.



**Figura 6:** Isotermas de adsorción Langmuir y Freundlich del colorante textil rojo granada

**Tabla 2:** Resultados obtenidos de las ecuaciones (1) y (2) Langmuir/Freundlich en las muestras de colorante rojo granada.

Muestra	Ct (mg/L)	C0 (mg/L)	V (L)	Langmuir	Freundlich
0	0.196903	0	0	0	0
1	1.5532x10 <sup>-6</sup>	0.001	0.001	0.999995	1
2	5.67107x10 <sup>-7</sup>	0.002	0.002	0.999998	1
3	1.33906x10 <sup>-6</sup>	0.003	0.003	0.9999955	1



**Figura 7:** Isotermas de adsorción Langmuir y Freundlich del colorante textil azul mezclilla

**Tabla 3:** Resultados obtenidos de las ecuaciones (1) y (2) Langmuir/Freundlich en las muestras de colorante azul mezclilla

Mues- tra	Ct (mg/L)	C0 (mg/L)	V (L)	Langmuir	Freundlich
0	0.139716	0	0	0	0
1	2.70479x10 <sup>-6</sup>	0.001	0.001	0.9999950	1
2	5.99579x10 <sup>-6</sup>	0.002	0.002	0.9999980	1
3	3.1616x10 <sup>-6</sup>	0.003	0.003	0.9999955	0.9999999

**Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

**Referencias**

Bishop P. L., Jiang H., (1994). Aerobic biodegradation of azo dyes in biofilms. *Wat. Sci. Technol.* 29. 10-11. Págs. 525-530

Carlos, M. H. J., Norma, M. T., Olimpia, J. H., Janette, A. M., Gabriela, P. O., Beatriz, E. A. (2010). Biodegradación de colorantes textiles mediante *Sphingobacterium multivorum* y *Acinetobacter haemolyticus*.

El Nemr, A., Shoaib, A. G., El Sikaily, A., Mohamed, A. E. D. A., Hassan, A. F., (2021). Evaluación de la eliminación del colorante azul de metileno catiónico mediante carbón activado mesoporoso de alta área superficial derivado de *Ulva lactuca*. *Procesos Ambientales*, 8, 311-332. DOI: doi.org/10.1007/s40710-020-00487-8

Figueroa, D., Moreno, A., Hormaza, A., (2015). Equilibrio, termodinámica y modelos cinéticos en la adsorción de Rojo 40 sobre tuza de maíz. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 14 (26), 105-120.

Frijters, C. T. M. J., Vos, R. H., Scheffer, G., Mulder, R. (2006). Decoloración y desintoxicación de aguas residuales textiles, que contienen tintes solubles e insolubles, en un sistema combinado anaeróbico/aeróbico a gran escala. *Investigación del agua*, 40 (6), 1249-1257. DOI: doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.013

Husien, S., El-taweel, R.M., Salim, A.I., Fahim, I.S., Said, L.A., Radwan, A.G., (2022) *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* DOI: doi.org/10.1016/j.crgsc.2022.100325

Isbel, P. V. (2019). Tratamiento de agua residual sintética contaminada con colorante negro 601 mariposa mediante moringa oleífera.

Martínez, A. C., Olivares, C. C., Lozada, A. E., Ramírez, C. G., (2014). Contaminación generada por colorantes de la industria textil. *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, 2(3).

Márquez, G. Y., Ortega, H. D., Trujillo, E. A., Reyes, C. V., García, H. V., Castañeda, O. A. (2022) Retiro de colorantes textiles utilizando material cerámico poroso en 3 tamaños de partícula diferente, obtenido de residuos orgánicos.

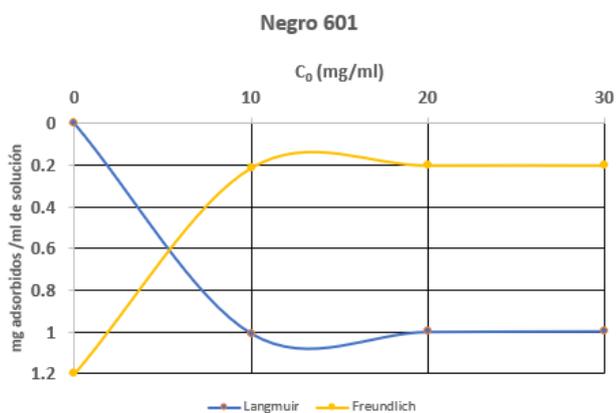
Morales, G. F., Melgoza, R. M., (2009). Tratamiento del colorante azo Rojo Directo 23 mediante reactores discontinuos secuenciados anaerobios/aerobios. *Información tecnológica*, 20(1), 73-82. DOI: 10.1612/inf.tecnol.4005it.08

Shaul, G.M., Holdsworth, T.J., Dempsey, C.R., Dostal, K. A., (1991). Destino de los colorantes azoicos solubles en agua en el proceso de lodos activados. *Chemosphere*, 22 (1-2), 107-119. DOI: doi.org/10.1016/0045-6535(91)90269-J

Tan, I. A. W., Ahmad, A. L., Hameed, B. H., (2008). Adsorption of basic dye on high-surface-area activated carbon prepared from coconut husk: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. 154(1-3), 337-346. DOI: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.10.031

Trujillo, E. A., Reyes, C. V. E., Reyes, M. Q. L., Cobos, M. J. A., Juárez, T. J. C., Legorreta, G. F. (2021). Material cerámico poroso obtenido de restos orgánicos de cocina, para adsorción de Plomo y Selenio en efluentes contaminados. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 129-131. DOI: doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7147

Wolfgang, R., Wolfgang, E. (1987). Mediciones precisas de reflexión difusa en el rango espectral infrarrojo. *Óptica aplicada*, 26 (21), 4620-4624. DOI: doi.org/10.1364/AO.26.004620



**Figura 8:** Isotermas de adsorción Langmuir y Freundlich del colorante textil negro 601

**Tabla 4:** Resultados obtenidos de las ecuaciones (1) y (2) Langmuir/Freundlich en las muestras de colorante Negro

Mues- tra	Ct (mg/L)	C0 (mg/L)	V (L)	Langmuir	Freundlich
0	0.00568038	0	0	0	0
1	0.00275364	0.001	0.001	1.0073208	0989281
2	0.00016285	0.002	0.002	0.9989250	0.9999994
3	7.163x 10 <sup>-5</sup>	0.003	0.003	0.9961103	0.9999472

**Agradecimientos**

Los autores agradecen al programa de Cátedras CONACYT.