

Evaluación de la capacidad de adsorción de una película composite para la eliminación de cristal violeta Evaluation of the adsorption capacity of a composite film for crystal violet removal

O.Y. Vera-Hernández^a, M. E. Páez-Hernández^a, I. S. Ibarra^a, R. L. Camacho-Mendoza^a, I. Pérez-Silva^{a,*}

^aÁrea Académica de Química, Ciudad del Conocimiento, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México.

Resumen

El cristal violeta es un colorante catiónico tóxico, resistente a la degradación y capaz de actuar como veneno mitótico, cancerígeno y mutagénico por lo que su tratamiento es indispensable. Una de las alternativas con la que se cuenta para su eliminación es la adsorción debido a su bajo costo de operación y facilidad de implementación. En este sentido, en el presente trabajo se desarrolló una película de alginato de sodio modificada con hueso de aguacate activado que permite la adsorción de cristal violeta presente en sistemas acuosos. La película composite presentó una capacidad máxima de adsorción de 312 mg/g y una eficiencia del 85% al emplear 5 cm² de la misma en contacto durante 60 minutos con una solución de cristal violeta a pH 5. Estos resultados sugieren que el material posee un buen desempeño como adsorbente de colorantes, lo que podría contribuir al desarrollo de estrategias más sostenibles para el tratamiento de efluentes industriales.

Palabras Clave: Alginato de sodio, composite, hueso de aguacate activado, biosorción, colorantes.

Abstract

Crystal violet is a cationic, toxic, and resistant-to-degradation colorant. This colorant is mitogenic, carcinogenic, and mutagenic, so its treatment is essential. An option of treatment is adsorption due to low cost and easy implementation. For this reason, in this study, a composite film of sodium alginate and activated avocado seed was developed for the adsorption of crystal violet in aqueous systems. The film showed a maximum adsorption capacity of 312 mg/g and an adsorption efficiency of 85% when 5 cm² of the material were in contact for 60 minutes with a crystal violet solution at pH 5. These results suggest that the material performs well as a dye adsorbent, which could contribute to the development of more sustainable strategies for the treatment of industrial effluents.

Keywords: Sodium alginate, composite, activated avocado seed, biosorption, dyes.

1. Introducción

La adsorción constituye un proceso físico y químico en el que las moléculas de una sustancia (adsorbato) son retenidas en la superficie de un adsorbente (Fito et al., 2023). Este proceso es ampliamente utilizado debido a su bajo costo, fácil implementación y la diversidad de adsorbentes que pueden ser empleados (Dąbrowski, 2001). Los adsorbentes pueden ser de naturaleza orgánica o inorgánica, lo cual les confiere diversas propiedades y eficiencia en combinación con otras variables como el área superficial, pH, temperatura, concentración del contaminante, tiempo de contacto o la interacción adsorbente-adsorbato (Burciaga-Montemayor et al., 2020).

En este contexto, el uso de materiales biopoliméricos para la elaboración de adsorbentes ha cobrado un gran interés debido a la capacidad de sorción, porosidad, biodegradabilidad

y facilidad de modificación que presentan (Werner et al., 2024). Dentro de estos se encuentra la celulosa, la agarosa, el almidón, el quitosano y el alginato (Khan, 2024).

El alginato es derivado de las paredes celulares de algas marinas de la clase *Phaeophyceae*: *Ascomphyllum*, *Laminaria* y *Macrocystis* (Häder, 2021). Es un polisacárido aniónico, lineal, sensible al pH, biocompatible, soluble en agua e hidrofílico, mientras que la sal sódica del ácido algínico cuenta con grupos hidroxilo y carboxilo a lo largo de la cadena. Entre sus principales usos se encuentra la ingeniería de tejidos, la microencapsulación de alimentos y como agente espesante y gelificante. En particular el alginato de sodio (AS) posee propiedades quelantes, mucoadhesión, alta viscosidad en agua, estabilidad térmica y una gran capacidad de formar películas. Puede presentar degradación microbiana, una rápida liberación de fármacos por lo que se ha combinado con diferentes tipos

*Autor para la correspondencia: iperez@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ve435622@uaeh.edu.mx (Orlando Yahir Vera Hernández), paezh@uaeh.edu.mx (Ma. Elena Páez Hernández), israel_ibarra@uaeh.edu.mx (Israel Samuel Ibarra Ortega), rosa_camacho@uaeh.edu.mx (Rosa Luz Camacho Mendoza), iperez@uaeh.edu.mx (Irma Pérez Silva)

Historial del manuscrito: recibido el 10/09/2025, última versión-revisada recibida el 20/10/2025, aceptado el 09/11/2025, publicado el 12/12/2025. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v13iEspecial4.15847>



de polímeros con la finalidad de mejorar sus propiedades (Ahmad et al., 2021).

Dentro de los usos del AS en el tratamiento de efluentes como un material composite se encuentra el desarrollo de adsorbentes magnéticos, la inmovilización de microorganismos y el dar soporte a diversos materiales para facilitar su manipulación durante el proceso de separación como las nanopartículas, el óxido de grafeno y el carbón activado. Algunos de los contaminantes que han sido tratados con este tipo de materiales son los metales pesados como el cadmio, arsénico, plomo, y algunos colorantes como el azul de metileno, rojo congo, verde malaquita y el naranja de metilo. Las capacidades máximas de adsorción de algunos de los materiales desarrollados hasta el momento van desde los 12.5 hasta los 2300 mg/g dependiendo de su tipo y configuración empleada (Wang et al., 2018).

Considerando lo anterior, en el presente trabajo se desarrolló una película composite (PC) de AS modificada con hueso de aguacate activado (HAA), con la finalidad de aumentar su estabilidad y capacidad de adsorción del cristal violeta (Cv) el cual es un colorante sintético de tipo catiónico perteneciente a la familia de los triarilmetano que se destaca por su intensidad y brillantez de color (Georgin, 2020).

Este colorante es altamente resistente a la degradación por lo que se ha usado en la clasificación de bacterias y como agente antimicrobiano en medicina veterinaria (Sultana et al., 2022) así como en la tinción de textiles, plásticos, grasas y ceras. Sin embargo, su uso excesivo tiene efectos tóxicos para la vida acuática y terrestre debido a que actúa como un veneno mitótico, cancerígeno y mutagénico, considerándose una sustancia bio-peligrosa, incluso en bajas concentraciones por lo que es fundamental su tratamiento (Homagai et al., 2022).

2. Metodología

2.1 Elaboración de la película composite.

La PC se conforma por la combinación de AS y HAA, por lo que se obtuvieron huesos de aguacate de desechos locales, se lavaron y secaron con la finalidad de eliminar impurezas. Posteriormente fueron triturados y secados a 65 °C por 8 h. Para obtener el HAA se colocaron 5 g de polvo seco en 25 mL de una solución de ácido cítrico 0.5 mol/L por 2 h, transcurrido el tiempo se lavó, filtró y secó nuevamente por 24 h a 65°C (El-Idreesy et al., 2021) (Figura 1).

Para la elaboración de la PC (Figura 2), se prepararon distintas soluciones poliméricas de AS (0.25%, 0.5%, 1% y 2%) con diferentes porcentajes de HAA (entre 0 y 5 %). Cada una de las soluciones resultantes se enrasó en un cristal para obtener las diversas películas composite con un espesor aproximado de 0.2 mm. Cada película fue rociada con CaCl₂ 0.1 mol/L con la finalidad de lograr el entrecruzamiento del AS y la inmovilización del HAA en la matriz polimérica, ya que se ha demostrado que la adición de iones divalentes como el calcio permite el entrecruzamiento del AS impidiendo su solubilidad y mejorando sus propiedades mecánicas (Yang et al., 2023).

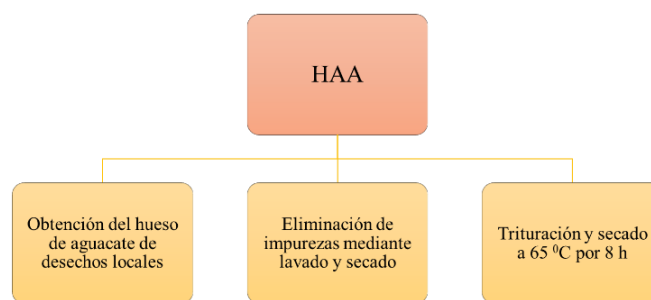


Figura 1. Activación del hueso de aguacate.

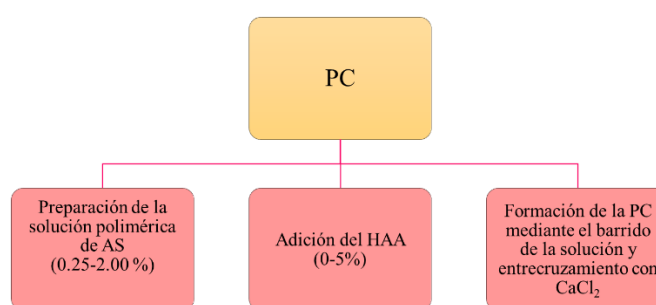


Figura 2. Elaboración de la película composite.

La PC óptima fue analizada mediante un Espectrofotómetro de Infrarrojo Perkin Elmer Sytem 2000, con transformada de Fourier con la finalidad de observar la correcta inmovilización del HAA; la estabilidad química de la PC en medios ácidos y básicos se determinó colocando 5 cm² de esta en 10 mL de una solución de ácido nítrico (HNO₃) (J.T. Baker, ACS) o hidróxido de sodio (NaOH) ambos a 0.1 mol/L (Sigma-Aldrich, ACS, 98%) por 24 h para determinar la diferencia de peso de la PC antes (P_{inicial}) y después de sumergirla (P_{final}). El porcentaje de peso perdido se obtuvo con la ayuda de la ecuación 1 (Kunene et al., 2020).

$$\%P_{perdido} = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \times 100 \quad (1)$$

2.2 Evaluación del porcentaje de adsorción de la película composite.

La capacidad de adsorción de las PC se evaluó con 10 mL de una solución de 10 mg/L de Cv (Meyer, ACS, 90%). La concentración del colorante fue determinada mediante un espectrofotómetro UV-Vis Lambda 40 a una longitud de onda de 585 nm (Sulyman et al., 2021). Todos los experimentos se llevaron a cabo por triplicado.

Para obtener las condiciones óptimas de adsorción se realizó un diseño Taguchi con las variables y niveles mostrados en la Tabla 1. Los resultados obtenidos fueron analizados con el software Minitab 17.

Tabla 1. Variables y niveles empleados en el método Taguchi empleado para la optimización de la adsorción de cristal violeta.

Variables	1	2
pH	5	8
Tiempo de contacto	30 min	60 min
Área de contacto	2 cm ²	5 cm ²

El punto de carga cero (PZC) se determinó colocando en agitación por 48 h 5 cm² de la PC óptima en 10 mL de una solución 0.03 mol/L de NaCl ajustando el pH de la solución entre 1 y 9 mediante la adición de NaOH o HCl según sea el caso para determinar el cambio de pH (Δ pH) después de transcurrido el tiempo (Cid et al., 2024).

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de la película composite.

Análisis IR.

Con la finalidad de conocer si la película fue modificada correctamente se analizó por espectroscopía IR. Para el caso del AS (Figura 3a), se observó alrededor de 3420 cm⁻¹ la banda correspondiente a los grupos OH, en 1620 y 1427 cm⁻¹ se muestran las vibraciones de los grupos carbonilo, mientras que alrededor de 1100 cm⁻¹ se observan las bandas correspondientes al estiramiento -C-O-C de la estructura del polisacárido (Suhail et al., 2021). Por otro lado, la Figura 3b muestra el espectro de IR de la PC donde se pueden observar las bandas características del AS y HAA; se presentan bandas de OH entre 3600-3200 cm⁻¹ debidas a la presencia de los grupos fenólicos y alcoholes de la lignina y la celulosa que conforman el hueso de aguacate, así como la de los grupos del AS. Entre ~2800-2900 cm⁻¹ se ve la banda correspondiente a la vibración C-H de la celulosa presente en el HAA, asimismo alrededor de 2400 cm⁻¹ se observa una banda debida a la vibración de C-H de la hemicelulosa presente en el HAA. Alrededor de 1620 cm⁻¹ se presenta la vibración del grupo carboxílico. Finalmente, en ~1160 y 990 cm⁻¹ se tienen las vibraciones correspondientes a los enlaces glucosídicos de la celulosa y hemicelulosa (Wang et al. 2022; Díaz-Muñoz et al. 2016; Zulyadi et. al. 2016).

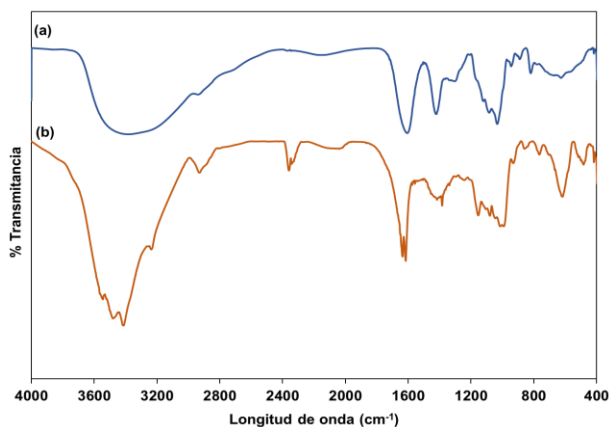


Figura 3. Espectros de infrarrojo. (a) alginato de sodio (AS), (b) película composite (PC).

Todo lo anterior sugiere que la estructura base de AS fue modificada adecuadamente con la incorporación del HAA.

Flexibilidad y estabilidad física de las PC.

Una de las características principales que deben tener los materiales poliméricos es la flexibilidad, la cual, en este caso, depende inicialmente de la concentración de AS, por lo que se elaboraron diversas PC variando la concentración de AS tal y como se muestra en la Tabla 2. Después de una inspección visual se pudo observar que a medida que aumenta la concentración del AS en la película, la flexibilidad tiende a incrementarse, mientras que la estabilidad física disminuye. Lo anterior puede atribuirse a las deficientes propiedades mecánicas del AS y a las diversas propiedades reológicas que presenta la película al modificar la concentración del biopolímero (Xie et al., 2024).

Tabla 2. Evaluación de las películas composite.

Concentración de alginato de sodio (%p/p)	Flexibilidad	Estabilidad física
0.25	Alta	Alta
0.50	Alta	Media
1.00	Muy alta	Media
2.00	Muy alta	Muy baja

3.2 Evaluación del proceso de adsorción.

Efecto de la concentración de alginato de sodio.

Adicional a la prueba anterior, cada una de las películas elaboradas se pusieron en contacto con una solución de Cv con la finalidad de evaluar su porcentaje de adsorción. De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 4, se puede observar que al aumentar la concentración de AS hasta el 1% incrementa el porcentaje de adsorción, probablemente porque existe una mayor capacidad de AS para inmovilizar al HAA dentro de la matriz polimérica. Sin embargo, a concentraciones mayores del 2% de AS, la viscosidad de la solución incrementa afectando el espesor y la formación de la película produciendo una disminución en el porcentaje de adsorción (Parreidt et al., 2018). Considerando lo anterior, para pruebas posteriores se utilizará una concentración de AS del 1%.

Ya que la película elaborada debe presentar cierta estabilidad a diversos medios, la PC elegida se sumergió en HNO₃ e NaOH 1M. Como se puede observar en la Tabla 3, en medios básicos se presenta la mayor pérdida de la PC debido probablemente a que a pH superiores de 11 el AS reduce su viscosidad y tiempo de vida, esto cambia en medios ácidos ya que se puede formar un gel de ácido algínico modificando su estabilidad (Frent et al., 2022).

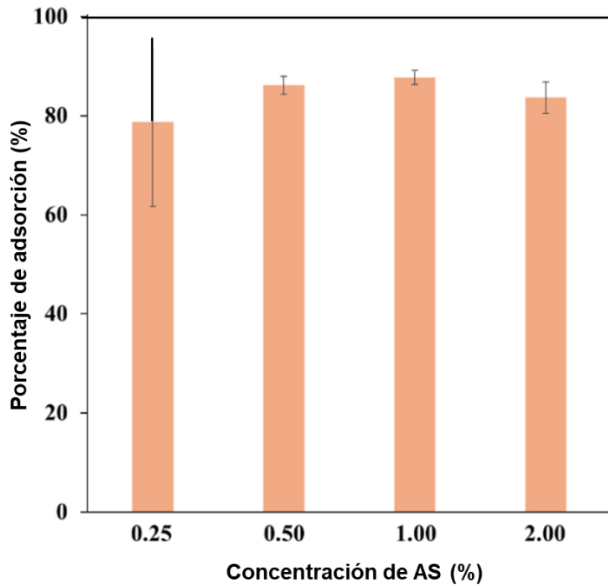


Figura 4. Efecto de la concentración de alginato de sodio en el porcentaje de adsorción del cristal violeta. Condiciones experimentales: pH (5), área de contacto (5 cm²), tiempo de contacto (60 min).

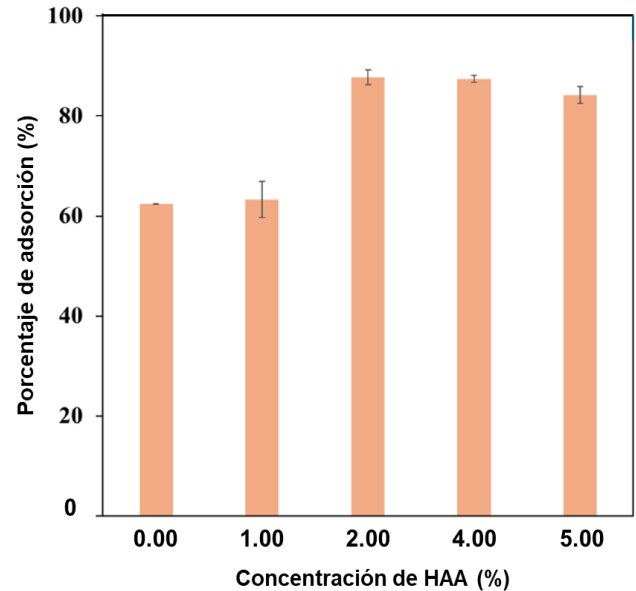


Figura 5. Efecto de la concentración de HAA en el porcentaje de adsorción del Cv. Condiciones experimentales: PC 1% de AS; pH (5), tiempo de contacto (60 min), Área de contacto (5 cm²), Cv (10 mg/L)

Tabla 3. Estabilidad química de la película composite frente a diferentes medios (HNO₃ y NaOH).

Medio (1M)	Perdida de peso (%)
HNO ₃	2.47 (6.68)
NaOH	66.24 (7.74)

Composición de las películas: 2% de HAA, 1 % de AS.

Evaluación de la concentración de hueso de aguacate activado inmovilizado en la PC

Otro de los factores que influyen en la capacidad de adsorción de la PC es la cantidad de HAA presente en la película ya que además de proporcionar mayor estabilidad física, genera una mayor afinidad hacia el analito de interés debido a los diversos grupos funcionales presentes en la superficie que permiten interacciones intermoleculares donador-aceptor entre la PC y el Cv. Acorde a la Figura 5, se puede observar que al inmovilizar una mayor cantidad de HAA en la PC se tiene un incremento en la capacidad de adsorción debido a una mayor disponibilidad de sitios activos. Este efecto disminuye ligeramente cuando se emplea una concentración del 5% de HAA debido probablemente a la saturación del material (Elsherif et al., 2021). Es importante mencionar que esta concentración es la que le proporciona una mayor estabilidad física de la PC por lo que se propone utilizarla en ensayos posteriores.

Optimización de los parámetros químicos en la adsorción de cristal violeta.

Para determinar las mejores condiciones de adsorción de la PC, se llevó a cabo un diseño de experimentos Taguchi con la matriz de diseño y resultados que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de diseño y porcentaje de adsorción obtenidos en el diseño Taguchi.

Experimento	pH	Tiempo de contacto (min)	Área de contacto (cm ²)	Porcentaje de adsorción (%)*
1	1	1	1	59.03 (10.63)
2	1	1	2	81.48 (4.46)
3	1	2	1	73.70 (2.11)
4	1	2	2	87.19 (2.42)
5	2	1	1	60.61 (8.22)
6	2	1	2	62.38 (10.27)
7	2	2	1	59.47 (10.62)
8	2	2	2	80.85 (3.19)

Condiciones experimentales: Película composite 1% de AS y 5% de HAA. pH (5 y 8), B: Tiempo de contacto (30 y 60 min), Área de contacto (2 y 5 cm²), Cv (10 mg/L) *CV entre paréntesis

De acuerdo con el análisis de varianza (Tabla 5), se puede observar que, de los tres factores evaluados, el área de contacto es la que afecta significativamente el porcentaje de adsorción del Cv, esto debido a que una mayor superficie permite incrementar el número de sitios activos disponibles para la adsorción (Elsherif et al., 2021)

Tabla 5. Análisis de varianza para la media.

Factores	GL	SC	CM	F	P
pH	1	181.4	181.38	5.26	0.083
Tiempo de contacto	1	177.7	177.72	5.16	0.086
Área de contacto	1	436.3	436.34	12.66	0.024
Error residual	4	137.9	34.47		
Total	7	933.3			

pH (5 y 8), B: Tiempo de contacto (30 y 60 min), Área de contacto (2 y 5 cm²).

Por otro lado, si bien el tiempo de contacto y el pH no influyen significativamente en el proceso, si pueden modificar ligeramente el porcentaje de adsorción. Por ejemplo, a mayor tiempo de contacto la adsorción puede llegar al equilibrio debido a la velocidad del proceso y la cantidad de sitios activos de la PC por lo que dejarlo más tiempo podría causar la desorción (Figura 6a) (Sulyman et al., 2021), mientras que el pH influye en las cargas superficiales de la PC lo cual puede facilitar la atracción o repulsión electrostática de las moléculas de Cv (Figura 6b) (Gonzales-Condori et al., 2023).

Es importante mencionar que a valores de pH inferiores de ~4.1 (punto de carga cero), la superficie del material adquiere una carga positiva debido a la adsorción de los iones H^+ , mientras que a valores superiores la carga del adsorbente es negativa por el aumento de los iones OH^- (Figura 7), lo cual es compatible con la carga del Cv a estas condiciones (Murthy & Gowrishankar, 2020; Mahrez et al., 2020). Considerando lo anterior, las condiciones óptimas obtenidas son: pH 5, tiempo de contacto 60 min y 5 cm^2 área de contacto.

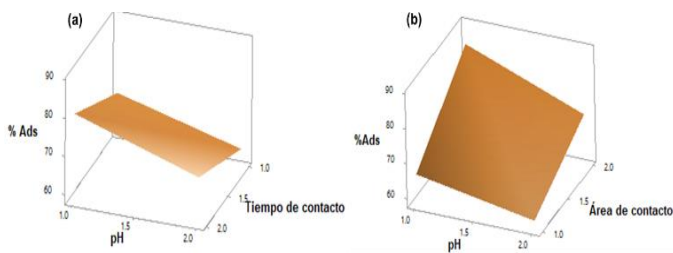


Figura 6. Gráficos de superficie para la optimización de los parámetros químicos para la adsorción del cristal violeta. Condiciones experimentales: Película composite 1% de AS y 5% de HAA. pH (5 y 8), B: Tiempo de contacto (30 y 60 min), Área de contacto (2 y 5 cm^2), Cv (10 mg/L)

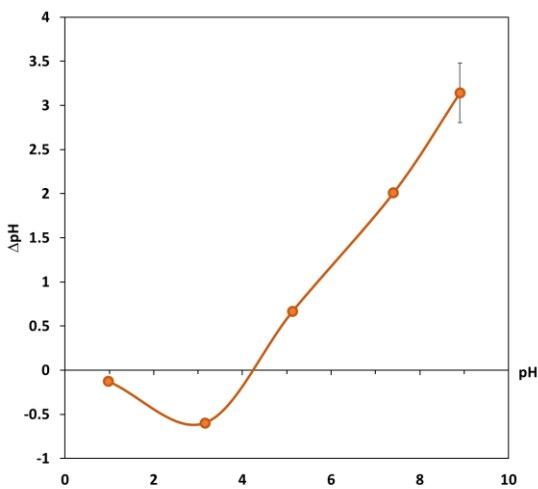


Figura 7. Determinación del punto de carga cero. Condiciones experimentales: Película composite 1% de AS y 5% de HAA. pH (5), B: Tiempo de contacto (60 min), Área de contacto (5 cm^2).

Tabla 6. Constantes de las diferentes isotermas de adsorción (Langmuir y Freundlich) del proceso de adsorción de cristal violeta.

Isoterma	Parámetro	
Langmuir	q_o	312.5 mg/g
	K_L	0.006 l/mg
	R^2	0.989
Freundlich	K_F	2.313 l/g
	n_o	1.333
	R^2	0.968

Efecto de la concentración de cristal violeta.

Para evaluar el efecto la cantidad de Cv en el proceso de adsorción se modificó entre 1 a 2,000 mg/L la concentración del colorante presente en la solución inicial. Los diferentes datos obtenidos se ajustaron a las isotermas linealizadas de Langmuir y Freundlich con los resultados que se muestran en la Tabla 6.

Los datos permiten concluir que la adsorción se lleva a cabo principalmente en monocapa sobre una superficie homogénea (modelo de Langmuir), es decir, cada molécula del Cv es adsorbida por un sitio fijo donde cada uno tiene la misma energía además de no haber interacción entre las moléculas adsorbidas (Ragadhita & Nandiyanto, 2021). Por otra parte, los valores de RL obtenidos se encuentran en el intervalo de 0.105 a 0.999 lo que indica un proceso favorable para la adsorción de Cv en la PC, mientras que la capacidad máxima de adsorción del material determinada fue de 312 mg/g, la cual es similar a la obtenida con otros tipos de adsorbentes degradables tal y como se muestra en la Tabla 7

Tabla 7. Capacidades máximas de adsorción de Cv empleando diferentes tipos de adsorbentes biodegradables.

Material	q_{max} (mg/g)	Referencia
Corteza de <i>Ocotea puberula</i>	444.34	Georgin et al., 2020
Película composite (AS/HAA)	312.5	Este trabajo
Hojas de olivo	133.33	Elsherif et al., 2021.
Biomasa de:		
Ciprés	105.26	Al-Ma'abreh et al., 2022.
Pino	80.65	
Roble	90.91	
Cáscara de arroz carbonizada	90.02	Homagai et al., 2022.
Cáscara de arroz xantatado	62.85	
Clinoptilolita activada con ácido nítrico	37.03	Bondarev & Gheorghe, 2022.
Residuos industriales (caucho granulado y espuma de poliuretano)	20.92	

Efecto de otros colorantes sobre el proceso de adsorción.

Para evaluar el efecto de otros colorantes sobre la adsorción del Cv en la PC, se preparó una muestra simulando el agua proveniente de una industria textil acorde a lo reportado por Georgin et al. (2020), la cual contenía 100 mg/L de cristal violeta, 10 mg/L de azul de metileno, 100 mg/L de verde malaquita, 100 mg/L de NaCl y 100 mg/L de carbonato de sodio. El porcentaje de adsorción del Cv en la muestra simulada fue del 53.34 ± 3.62 %, mientras que en un sistema ideal (solo en presencia de 100 mg/L de Cv) fue del 74.36 ± 6.37 %. Lo anterior permite observar la versatilidad de

la PC para el tratamiento de muestras provenientes de la industria textil, ya que, aunque el porcentaje de adsorción del Cv se reduce probablemente por la competencia de los sitios activos, también permite la eliminación de los otros dos colorantes presentes en el sistema (aproximadamente en un 30%) lo cual la convierte en una alternativa para el tratamiento de este tipo de efluentes.

4. Conclusiones

Se concluye que la PC desarrollada permite la adsorción de un colorante tóxico empleado en la industria textil como el cristal violeta. La composición óptima de la PC fue el 1% de alginato de sodio con 5% de hueso de aguacate activado la cual visualmente mejora su estabilidad física, además permitió un 85% de adsorción al poner en contacto 10 mL de una solución de Cv de 10 mg/L a pH 5 por 60 min con 5 cm² de la PC. El modelo de Langmuir indicó una adsorción en monocapa con una capacidad máxima de 312 mg/g, considerada alta frente a otros materiales similares, mientras que en una muestra simulada es capaz de remover el 53 % del Cv y aproximadamente el 30 % de otros colorantes presentes en el sistema. Estos resultados demuestran la eficiencia del material como adsorbente y su potencial para el desarrollo de alternativas más amigables con el medio ambiente para en el tratamiento de efluentes industriales que contengan colorantes catiónicos.

5. Referencias

- Ahmad, A., Mubarak, N., Jannat, F. T., Ashfaq, T., Santulli, C., Rizwan, M., Najda, A., Bin-Jumah, M., Abdel-Daim, M. M., Hussain, S., & Ali, S. (2021). A Critical Review on the Synthesis of Natural Sodium Alginate Based Composite Materials: An Innovative Biological Polymer for Biomedical Delivery Applications. *Processes*, 9(1), 137. DOI: 10.3390/pr9010137
- Al-Ma'abreh, A., M., Abuassaf, R., A., Hmedat, D., A., AlKhabbas, M., Alawaideh, S., & Edris, G. (2022). Comparative study for the removal of crystal violet from aqueous solution by natural biomass adsorbents of pinecone, cypress, and oak. *Desalination and Water Treatment*, 274, 245–260. DOI: 10.5004/dwt.2022.28895
- Bondarev, A., & Gheorghe, C. (2022). Adsorptive removal of crystal violet dye from aqueous solutions using natural resource systems. *Desalination And Water Treatment*, 264, 215–223. DOI: 10.5004/dwt.2022.28560
- Burciaga-Montemayor, N. G., Claudio-Rizo, J. A., Cano-Salazar, L. F., Martínez-Luévanos, A., & Vega-Sánchez, P. (2020). Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales. *Deleted Journal*, 23. DOI: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211
- Cid, P., A., A., Hernández, L. D., L., Merino, G., E. & González, H., A., M. (2024). Síntesis de carbones activados con semillas de chirimoya y su aplicación en la adsorción de colorantes textiles. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40, 263–278. DOI: 10.20937/RICA.54967
- Dąbrowski, A. (2001). Adsorption—from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, 93(1–3), 135–224. DOI: 10.1016/S0001-8686(00)00082-8
- Díaz-Muñoz, L. L., Bonilla-Petriciolet, A., Reynel-Ávila, H. E., & Mendoza-Castillo, D. I. (2016). Sorption of heavy metal ions from aqueous solution using acid-treated avocado kernel seeds and its FTIR spectroscopy characterization. *Journal of Molecular Liquids*, 215, 555–564. DOI: 10.1016/j.molliq.2016.01.022
- El-Idreesy, T., Khoshala, O., Firouzi, A., y Elazab, H. (2020). Equilibrium and Kinetic Study on the Biosorption of Trypan Blue from Aqueous Solutions using Avocado Seed Powder. *Biointerface Research In Applied Chemistry*, 11(3), 11042–11053. DOI: 10.33263/BRIAC113.1104211053
- Elsherif, K. M., El-Dali, A., Alkarewi, A. A., Ewlad-Ahmed, A. M., & Treban, A. (2021). Adsorption of crystal violet dye onto olive leaves powder: Equilibrium and kinetic studies. *Chemistry International* 7(2), 79–89. DOI: 10.5281/zenodo.4441851
- Fito, J., Abewaa, M., Mengistu, A. Angassa, K., Demeke, A., Moyo, W., & Kkambule, T. (2023). Adsorption of methylene blue from textile industrial wastewater using activated carbon developed from Rumex abyssinicus plant. *Scientific Reports* 13, 5427 DOI: 10.1038/s41598-023-32341-w
- Frent, O., Vicas, L., Duteanu, N., Morgovan, C., Jurca, T., Pallag, A., Muresan, M., Filip, S., Lucaciu, R., & Marian, E. (2022). Sodium Alginate—Natural Microencapsulation Material of Polymeric Microparticles. *International Journal Of Molecular Sciences*, 23(20), 12108. DOI: 10.3390/ijms232012108
- Georgin, J., Franco, D. S. P., Netto, M. S., Allasia, D., Oliveira, M. L. S., & Dotto, G. L. (2020). Evaluation of Ocotea puberula bark powder (OPBP) as an effective adsorbent to uptake crystal violet from colored effluents: alternative kinetic approaches. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(20), 25727–25739. DOI: 10.1007/s11356-020-08854-6
- Gonzales-Condori, E., Avalos-López, G., Gonzales-Condori, J., Mujica-Guzmán, A., Terán-Hilares, R., Briceño, G. & Villanueva-Salas, J. (2023). Avocado seed powder residues as a promising bio-adsorbent for color removal from textile wastewater. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 22(3), 1–23. DOI: 10.24275/rmiq/IA2370
- Häder, D. P. (2021). Phycocolloids from macroalgae. In *Natural bioactive compounds* (pp. 187–201). Academic Press. DOI: 10.1016/B978-0-12-820655-3.00009-4
- Homagai, P. L., Poudel, R., Poudel, S. & Bhattarai, A. (2022). Adsorption and removal of crystal violet dye from aqueous solution by modified rice husk. *Heliyon*, 8(4), e09261. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09261
- Khan, I., Ali, N., Jing, Z., Khan, A., Ali, F., Hhan, F., Kareem, A., Sun, Y., Al Balushi, R. A., Al-Hinaai, M. M., Al-Harthi, T., & Nawaz, A. (2024). Biopolymer-carbonaceous composites, progress, and adsorptive mitigation of water pollutants. *International journal of biological macromolecules*, 274(Pt 2), 133379. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.133379
- Kunene, P., Akinbami, O., Motsoane, N., Tutu, H., Chimuka, L. & Richards, H. (2020). Feasibility of Polysulfone as Base Polymer in a Polymer Inclusion Membrane: Synthesis and Characterisation. *Journal Of Membrane Science And Research*, 6(2), 203–210. DOI: 10.22079/jmsr.2019.111596.1278
- Mahrez, N., Bessaha, F., Marouf-Khelifa, K., Çoruh, A., & Khelifa, A. (2020). Performance and mechanism of interaction of crystal violet with organohalloysite. *Desalination And Water Treatment*, 207, 410–419. DOI: 10.5004/dwt.2020.26447
- Murthy, T. P. K., & Gowrishankar, B. S. (2020). Process optimisation of methylene blue sequestration onto physical and chemical treated coffee husk based adsorbent. *SN Applied Sciences*, 2(5), 836. DOI: 10.1007/s42452-020-2603-9
- Parreidt, T. S., Schott, M., Schmid, M., & Müller, K. (2018). Effect of Presence and Concentration of Plasticizers, Vegetable Oils, and Surfactants on the Properties of Sodium-Alginate-Based Edible Coatings. *International Journal Of Molecular Sciences*, 19(3), 742. DOI: 10.3390/ijms19030742
- Ragadhita, R., & Nandiyanto, A. B. D. (2021). How to calculate adsorption isotherms of particles using two-parameter monolayer adsorption models and equations. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 6(1), 205–234. DOI: 10.17509/ijost.v6i1.32354
- Suhail, M., Khan, A., Rosenholm, J. M., Minhas, M. U., & Wu, P. (2021). Fabrication and Characterization of Diclofenac Sodium Loaded Hydrogels of Sodium Alginate as Sustained Release Carrier. *Gels*, 7(1), 10. DOI: 10.3390/gels7010010
- Sultana, S., Islam, K., Hasan, M. A., Khan, H. J., Khan, M. A. R., Deb, A., & Rahman, M. W. (2022). Adsorption of crystal violet dye by coconut husk powder: Isotherm, kinetics and thermodynamics perspectives. *Environmental Nanotechnology Monitoring & Management*, 17, 100651. DOI: 10.1016/j.enmm.2022.100651
- Sulyman, M., Kucinska-Lipka, J., Sienkiewicz, M., & Gierak, A. (2021). Development, characterization and evaluation of composite adsorbent for the adsorption of crystal violet from aqueous solution: Isotherm, kinetics, and thermodynamic studies. *Arabian Journal Of Chemistry*, 14(5), 103115. DOI: 10.1016/j.arabjc.2021.103115
- Wang, B., Wan, Y., Zheng, Y., Lee, X., Liu, T., Yu, Z., Huang, J., Ok, Y. S., Chen, J., & Gao, B. (2018). Alginate-based composites for environmental applications: a critical review. *Critical Reviews in Environmental Science And Technology*, 49(4), 318–356. DOI: 10.1080/10643389.2018.1547621
- Wang, J., Li, Y., Jin, Z., & Cheng, Y. (2022). Physicochemical, morphological, and functional properties of starches isolated from avocado seeds, a potential source for resistant starch. *Biomolecules*, 12(8), 1121. DOI: 10.3390/biom12081121

- Werner, J., Zgoła-Grześkowiak, A., Grześkowiak, T., & Frankowski, R. (2024). Biopolymers-based sorbents as a future green direction for solid phase (micro)extraction techniques. *Trends In Analytical Chemistry*, 173, 117659. DOI: 10.1016/j.trac.2024.117659
- Xie, F., Gao, C., & Avérous, L. (2024). Alginate-based materials: Enhancing properties through multiphase formulation design and processing innovation. *Materials Science And Engineering R Reports*, 159, 100799. DOI: 10.1016/j.mser.2024.100799
- Yang, J., Fei, T., Zhang, W., & Cong, X. (2023). Tannic Acid and Ca²⁺ Double-Crosslinked Alginate Films for Passion Fruit Preservation. *Foods*, 12(21), 3936. DOI: 10.3390/foods12213936
- Zulyadi, N. H., Saleh, S. H., Sarijo, S. H. (2016). Fractionation of hemicellulose from rice straw by alkaline extraction and ethanol precipitation. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 20(2), 329 – 334. DOI: 10.17576/mjas-2016-2002-15