DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 12 No. Especial 4 (2024) 298-302

# Remoción de azul de toluidina a partir de cáscara de tomate y reutilización en fabricación de base de sillas
# Removal of toluidine blue from tomato peel and reuse in chair base manufacturing

Brenda K. González-Pérez[a], Manuel A. Gayosso-Morales[a], Alejandro Valdez-Calderón[a,*]

[a] *Universidad Tecnológica de la zona Metropolitana del Valle de México, C. P. 43800, Tizayuca, Hidalgo, México.*

**Resumen**

La contaminación del agua es un problema prioritario a nivel global, siendo la industria textil de los principales sectores que contribuyen al mismo con la liberación de altas cantidades de colorantes orgánicos y variedad de iones de metales pesados por mencionar algunos. Si hablamos de los métodos de remoción para eliminar colorantes en agua, los biosorbentes entran como una buena opción, al presentar ventajas como su bajo costo, fácil disponibilidad, carácter ecoamigable y altas eficiencias. En este trabajo describimos dos cuestiones relevantes: en un primer paso realizamos un estudio de remoción del colorante azul de toluidina (AT) a partir del residuo de cáscaras de tomate (CT), obteniendo buenos resultados de remoción en un rango de eficiencia entre 70-80 %. En una segunda etapa el residuo que se generó del estudio de remoción combinado CT-AT se mezcló con alcohol polivinílico (PVA) y se fabricaron placas con las que se elaboraron prototipos base de sillas. A estos prototipos se les midieron sus propiedades mecánicas. En el caso de la resistencia a la ruptura las placas PVA/CT y PVA/4CT-AT superaron de dos a tres veces el control hecho con PVA. Para el módulo de Young solo PVA/4CT-AT se acercó al valor del control, pero siendo importante recordar que en su fabricación se utilizó el residuo de un proceso previo.

*Palabras Clave:* Contaminación del agua, Azul de toluidina, biosorbente, cáscara de tomate.

**Abstract**

Water pollution is a priority problem globally, with the textile industry being one of the main sectors that contribute to it with the release of high quantities of organic dyes and a variety of heavy metal ions, to mention a few. If we talk about removal methods to eliminate dyes in water, biosorbents are a good option, presenting advantages such as their low cost, easy availability, eco-friendly nature and high efficiencies. In this work we describe two relevant issues: in a first step we carried out a removal study of the blue toluidine dye (BT) from tomato peel waste (TP), obtaining good removal results in an efficiency range between 70-80 %. In a second stage, the waste generated from the combined TP-BT removal study was mixed with polyvinyl alcohol (PVA) and films were manufactured with which base prototypes of chairs were made. These prototypes had their mechanical properties measured. In the case of breaking strength, the PVA/TP and PVA/4TP-BT films exceeded the control made with PVA two to three times. For the Young's modulus, only PVA/4TP-BT approached the control value, but it is important to remember that the residue from a previous process was used in its manufactured.

*Keywords:* Water pollution, blue toluidine, biosorbent, tomato peel.

## 1. Introducción

Los constantes esfuerzos para el desarrollo de diferentes industrias que abarcan los sectores químico, farmacéutico, agrícola y textil han contribuido significativamente al surgimiento de varios problemas ambientales que impactan negativamente el suelo, el agua y los componentes bióticos de la biosfera. Entre todas estas industrias, el sector textil se ha convertido en el principal contaminador de aguas superficiales y de depósitos de agua (Dutta et al., 2024). Las aguas residuales que contienen colorantes generalmente presentan niveles altos en los parámetros de sólidos suspendidos (SS), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), calor, color, acidez, basicidad y otros contaminantes inorgánicos que conlleva riesgos a la salud pública y ambiental. (Al-Tohamy et al., 2022; Meghwal et al., 2020).

Existen diversas clasificaciones de colorantes, siendo de las más aceptadas la que los ordena en naturales y sintéticos. Dentro de los colorantes sintéticos tenemos los azoicos y no

*Autor para la correspondencia: a.valdez@utvam.edu.mx
**Correo electrónico**: b.gonzalez@utvam.edu.mx (Brenda Karen González-Pérez), m.gayosso@utvam.edu.mx (Manuel Aarón Gayosso-Morales), a.valdez@utvam.edu.mx (Alejandro Valdez-Calderón).

**Historial del manuscrito:** recibido el 29/06/2024, última versión-revisada recibida el 03/10/2024, aceptado el 20/09/2024, publicado el 30/11/2024. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial4.13325

azoicos. Los colorantes azoicos constituyen el grupo más extenso de tintes sintéticos utilizados, los cuales son utilizados ampliamente por su fácil manejo y por su diversa gama de colores que van desde el tono amarillo hasta el color negro. Dentro de sus características podemos mencionar su alta resistente a la luz, solubilidad en agua, adsorción física y su aplicación en industrias como impresión, textil, pintura y barniz. Los compuestos azoicos pueden colorear la mayoría de los materiales artificiales, naturales y sintéticos, incluidos productos de caucho, cuero y plástico (Khan et al., 2024; Lakhsmi et al., 2021).

Por lo anterior se desarrollan métodos de tratamiento para eliminar los colorantes azoicos mediante decoloración y desintoxicación previo a su descarga en aguas residuales textiles en cuerpos de agua naturales. Para este fin, se utilizan tratamientos físicos, químicos y biológicos como son la coagulación/floculación, adsorción, tecnología de membranas y degradación enzimática. Aunque todos los métodos tienen alta eficiencia de eliminación de colorantes azoicos tiene como desventaja sus altos costos operativos, largos tiempos de procesamiento y complicada logística de tratamiento para aplicaciones a gran escala (Singh et al., 2017; Vaiano et al., 2023).

Una alternativa de bajo costo y con altos rendimientos de eficiencia es utilizar cáscaras de vegetales (considerados desechos) para remover este tipo de colorantes. La cáscara de cítricos como limón, toronja y principalmente naranja (Amalina et al., 2022; Rosanti et al., 2022), reportan rendimientos de remoción superiores al 70 %. Los cítricos no son los únicos y existe una amplia variedad de desechos usados para este fin, como es el caso del pepino para remover azul de metileno (Shakoor y Nasar, 2017), cáscara de papa que remueve rojo congo (Goyi et al., 2024) o cácara de habas usadas en la remoción de naranja de metilo (Husien et al., 2023).

En este trabajo reportamos la capacidad de cáscaras de tomate (CT) para la remoción del colorante de tipo azo azul de toluidina (AT) con rendimientos superiores a 70 %. En un segundo paso la biomasa de tomate y el colorante adsorbido se mezcló con alcohol polivinílico (PVA) para la fabricación de un material que funcione como base de las patas de silla como un posible competidor de las gomas de caucho. A las bases fabricadas se le realizaron estudios mecánicos como resistencia a la ruptura y módulo de Young con respecto a un material hecho solo con PVA (Fig. 1).

## 2. Materiales y métodos

### *2.1. Materiales*

Los productos químicos comerciales se utilizaron sin purificación adicional. Los reactivos de PVA y glicerina se adquirieron de Merk™, azul de toluidina de Meyer™ y agua desionizada de Wholer™. Los espectros de absorción se obtuvieron con un espectrofotómetro Perkin Elmer LAMBDA 2S UV-Vis.

### *2.2. Obtención del adsorbente (cáscara de tomate)*

Las cáscaras de tomate se colectaron en los meses de octubre y noviembre de 2023 con comerciantes de la central de abastos de la ciudad de Pachuca de Soto (20° 6′ 19.3′′ N, 98° 45′ 10.1′′ O), a 2432 m sobre el nivel del mar. Luego se lavó el material para eliminar la suciedad, se dejó secar al aire, se pulverizó con un molino mecánico y tamizó con una criba de 0.6 mm.

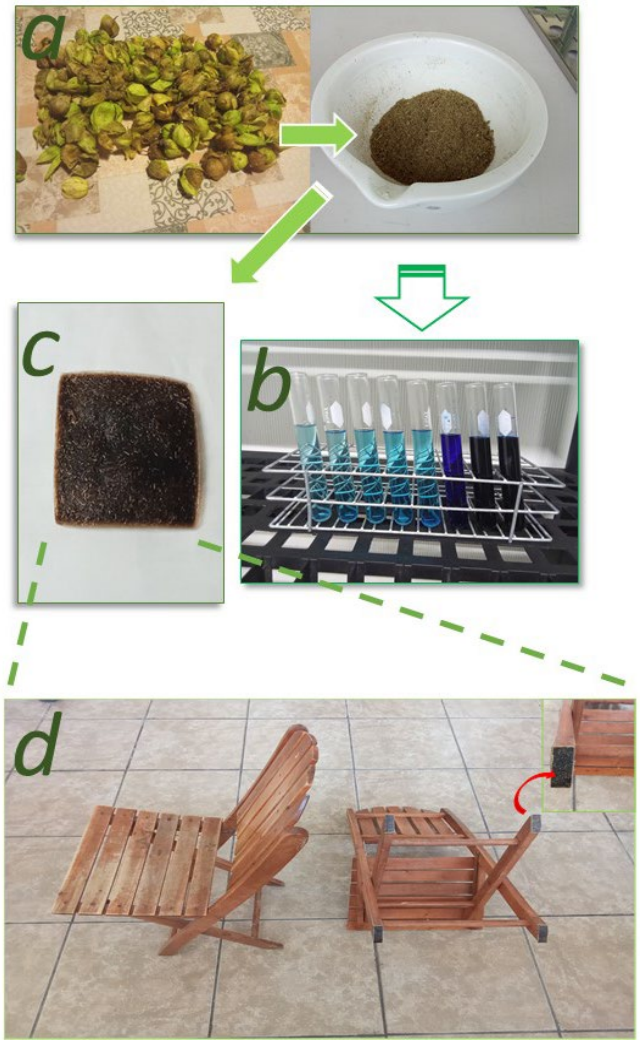


Figura 1**:** Imagen que muestra diferentes etapas del proceso donde se aprecia a) los residuos de cáscara de tomate y el polvo utilizado; b) el colorante AT después del estudio de remoción en distintos tiempos (se tomó la condición 4CT para la imagen); c) una placa elaborada para utilizar como base y; d) la aplicación del prototipo de base para patas en sillas.

### *2.3 Caracterización de la cáscara de tomate*

La caracterización de CT se llevó a cabo mediante métodos y procedimientos estandarizados. La determinación de celulosa se realizó agregando 2 g de CT limpio y seco, en un vaso de precipitados de 250 mL el cuál se trató calentando con 160 mL de disolución 1 M de acetato de sodio a 75 °C durante 5 h. Se añadió clorito de sodio 0.11 M (4 mL) cada hora durante 4 h. A continuación, la mezcla se enfrió, se filtró y el residuo se lavó con 1 mL de agua destilada y con 15 mL de acetona. Finalmente, el residuo se secó para obtener el porcentaje de celulosa (Hernao et al., 2009). La determinación de la humedad de CT la realizamos en base a la norma NOM-021-RECNAT-2000. Se tomó una muestra de CT, se colocó en

el horno y se dejó a 105 °C durante 24 h. Pasado el tiempo, se retiró, se dejó enfriar y se pesó para regresar a la estufa por 1 h. Este proceso se repite hasta obtener un peso constante. Para la determinación de cenizas se colocaron de 3 a 5 g de CT en un crisol de masa constante y se introdujo en la mufla a 650 °C ± 25 durante 3 h. Pasado este tiempo se dejó enfriar hasta alcanzar peso constante y se retira para colocarlo en el desecador de acuerdo con lo establecido en la NMX-F-066-S-1978. La medición de pH para CT se llevó a cabo con 2 g de biomasa, las cuales se colocaron en 20 mL de agua destilada a temperatura ambiente. Con un potenciómetro se tomaron 3 lecturas a los 5 min. Se utilizó el mismo paso para medir la conductividad (Sandermann & Rothkamm,1959).

### *2.4. Estudio de adsorción de AT*

Los experimentos de adsorción fueron monitoreados mediante espectroscopia UV-visible. Se preparó una disolución de AT de 100 mg/L y se midió el cambio de concentración en su máxima absorción ($\lambda_{max}$) a 633 nm. Una alícuota de 25 mL de la disolución de AT se agitó a 500 rpm a temperatura ambiente (25 ± 1,0 °C) en distintos periodos de tiempo. Transcurrido cada periodo se centrifugó el contenido, se extrajo la disolución sobrenadante y se midió su $\lambda_{max}$. La cantidad de remoción de AT se evaluó en términos de porcentaje aplicando la siguiente ecuación (Akter et al., 2016; Hassan et al., 2021):

$$\% RC = \frac{Ao - At}{At} x100 \quad (1)$$

Donde:
% RC= porcentaje de remoción del colorante
$A_0$= Adsorción inicial
$A_t$= Adsorción después de cada rango de tiempo

### *2.5. Elaboración de bases para silla*

Las bases de silla se prepararon partiendo de una disolución de 50 mL PVA al 10 % m/v en agitación constante a 70 °C. A la disolución homogénea se le agregaron 5mL de glicerol y se le agregó el polvo de CT y el residuo seco posterior a su remoción de CT/AT. La temperatura se mantuvo hasta lograr una mezcla homogénea la cual se vertió en un molde de vidrio templado y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Las placas que se formaron y usaron para la base se etiquetaron con los números 4, 2 y 1, donde en cada caso hacen referencia al origen del residuo procedente de las pruebas de remoción de AT con respecto a la cantidad de masa adsorbente CT usada en cada una.

### *2.6. Propiedades mecánicas de los materiales*

Las propiedades mecánicas para las bases para patas de silla se realizaron utilizando una máquina de ensayo de tracción MTS Criterion Modelo 43 acoplada con una celda de carga de 5 kN, a una velocidad de cruceta de 50 mm/min en base a la norma ASTM D638-14.

### *2.7. Análisis estadístico*

Las diferencias significativas en las propiedades mecánicas de los materiales se detectaron utilizando un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba post hoc de Tukey (SigmaPlot ver. 12, EE. UU.). Las diferencias en los valores de $P < 0,05$ se consideraron estadísticamente significativas en el caso de su resistencia a la ruptura. Para el módulo de Young las diferencias fueron $P< 0,001$.

## 3. Resultados

### *3.1. Caracterización del adsorbente*

La caracterización de la biomasa de cáscara de tomate se muestra en la Tabla 1. Como se puede apreciar, su contenido de cenizas es inferior al 10 % Al utilizar la cáscara del vegetal era de esperar un contenido de celulosa muy cercano al 60 % y siendo importante recordar que este polisacárido tiene propiedades adsorbentes intrínsecas. La parte del pH y conductividad son similares a otras cáscaras como las reportadas para cáscara de chícharo y papa (Chaudhary et al., 2022). El porcentaje de humedad que se obtuvo fue de 2.44 % lo que supuso muy poca pérdida de materia prima en masa por deshidratación y una ventaja para su posterior aplicación. Los valores obtenidos de su caracterización son muy cercanos a los informes disponibles Torres, 1998).

Tabla 1: caracterización de CT.

| Parámetro | Valores |
|---|---|
| Cenizas | 7.7 ± 1.8 |
| Celulosa | 58.5 ± 1.1 |
| Conductividad | 8.00 ± 0.21 |
| Humedad | 2.44 ± 0.7 |
| Ph | 6.1 ± 0.01 |

Los resultados se reportan en porcentaje, excepto el pH (adimensional) y la conductividad reportada en microsiemmens/cm.

### *3.2 Capacidad de remoción*

Para medir la capacidad del adsorbente CT sobre AT se realizó el análisis de efecto del adsorbente CT agregando distintas cantidades de su biomasa como fueron 1, 2 y 4 g a la disolución estándar de AT preparada previamente y midiendo su absorbancia en distintos rangos de tiempo. La Fig. 2 muestra los resultados obtenidos en porcentaje de remoción (% RC). Los % RC para AT con respecto a las 3 diferentes cantidades de biomasa CT medidos cada 20 min tuvieron resultados similares. En la tercera medición (40 min) se presentó una diferencia de entre 10-15 % de 4CT (4 g de adsorbente) con respecto 2CT (2 g de adsorbente) y 1 CT (1 g de adsorbente). El % RC a los 60 min se consideró como el valor máximo para los tres casos, tomando en cuenta que sus posteriores mediciones a los 80, 100 y 120 min presentaron una variación menor al 1 de % RC. Los valores finales de remoción fueron 62 %, 63.5 % y 75.3 % para 1CT, 2CT y 4CT respectivamente. La remoción de AT que reportamos fue bastante similar a otros reportes en los cuales también se usó biomasa vegetal de manera directa como la cáscara de naranja (Lafi R, Rezma S y Hafiane A, 2014) y las hojas de caqui de Giombo (Bretanha M et al., 2016) en un rango de 70 a 90 %.

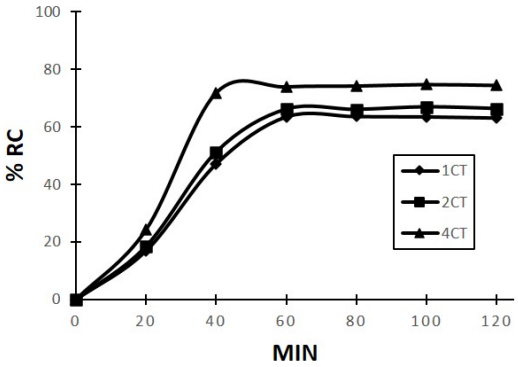


Figura 2: Grafica de porcentaje de remoción para AT en distintos rangos de tiempo con diferentes cantidades de adsorbente: 1CT (1 g), 2CT (2 g) y 4CT (4 g).

### *3.3. Análisis de sus propiedades mecánicas.*

Se elaboraron placas tipo base para patas de silla en referencia a la metodología explicada anteriormente. Se etiquetó como PVA a la hecha con alcohol polivinílico, PVA/CT mezclando el alcohol polivinílico y biomasa de cáscara de tomate. Las otras bases identificadas como PVA/1CT-AT, PVA/2CT-AT y PVA/4CT-AT se hicieron con alcohol polivinílico en mezcla con el residuo filtrado y llevado a sequedad, derivado de la remoción del colorante AT a partir de diferentes cantidades de CT y buscando una reutilización. Los números 1, 2 y 4 vienen del etiquetado del estudio de remoción.

Ahora bien, a cada base se le midieron dos propiedades mecánicas: resistencia a la ruptura y módulo de Young. El análisis de los datos en referencia a sus propiedades mecánicas se presenta en la Tabla 2, Figura 3. A los datos obtenidos para resistencia a la ruptura, de manera general se pueden observar diferencias significativas en dos de las bases respecto al control PVA como fueron PVA/CT y PVA/4CT-AT. Si omitimos el valor de PVA, la mejora se presentó de menor a mayor en el orden PVA/1CT-AT, PVA/2CT-AT, PVA/4CT-AT y PVA/CT. Para el caso de las bases que se fabricaron del residuo adsorbente con colorante la tendencia se puede explicar a que el colorante se puede distribuir en una mayor superficie de contacto por la cantidad de adsorbente presente para ese estudio como en el caso de PVA/4CT-AT. En el caso del mejor valor PVA/CT se asocia con la uniformidad en el polvo de biomasa proveniente del vegetal. Pasando al módulo de Young es importante mencionar que ninguna de las bases superó la media obtenida con el control PVA solo quedando casi a la par la placa etiquetada como PVA/4CT-AT. Con lo anterior, enfocándonos solo en los 4 restantes, en orden de menor a mayor fue PVA/CT, PVA/1CT-AT, PVA/2CT-AT y PVA/4CT-AT. En los valores se observó que todas las bases elaboradas con residuo de colorante adsorbente mejoraron a PVA/CT y al ser una prueba asociada a elasticidad nos indicó que el colorante adsorbido le quita el carácter rígido a CT en solitario.

En el comparativo con otros trabajos se han reportado valores cercanos utilizando solo PVA y biomasa vegetal (Chen et al., 2019; Medadurai et al., 2023), por lo que parece adecuado mencionar que los valores por debajo al control no dejan de ser interesantes por su denominación de residuo derivado de proceso previo.

Tabla 2: valores estadísticos de las propiedades mecánicas de las bases fabricadas.

| Base | Resistencia a la ruptura (MPa) | Módulo de Young (MPa) |
|---|---|---|
| PVA | 1.52 ± 0.28 | 8.54 ± 0.17 |
| PVA/CT | 5.22 ± 0.15 | 4.11 ± 0.11 |
| PVA/1CT-AT | 1.23 ± 0.08 | 4.93 ± 0.10 |
| PVA/2CT-AT | 1.59 ± 0.14 | 6.91 ± 0.11 |
| PVA/4CT-AT | 3.02 ± 0.10 | 8.12 ± 0.09 |

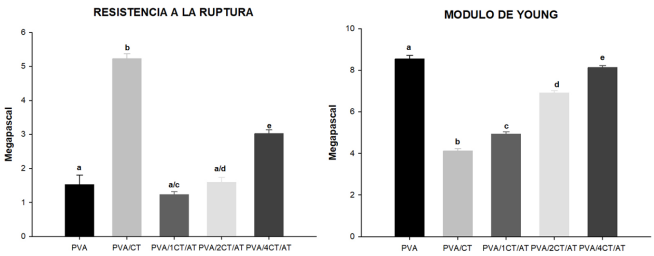


Figura 3: Graficas de barras para las propiedades mecánicas medidas a las bases para patas de silla con sus diferencias significativas que se pueden apreciar con las diferentes letras.

## Conclusiones

Se reportó por primera vez el uso del residuo cáscara de tomate CT para la remoción de un colorante AT estudiando la variación en la cantidad de biomasa adsorbente, alcanzando un 75.3 % como máximo valor de remoción en el estudio con condiciones 4CT.

Se describió por primera ocasión la elaboración de placas con biomasa de CT y el biopolímero PVA (PVA/CT); en adición, se generaron placas con los residuos provenientes del estudio de remoción compuestas por CT y AT con lo que se fabricaron: PVA/1CT-AT, PVA/2CT-AT y PVA/4CT-AT respectivamente. A todas las placas obtenidas se les midieron resistencia a la ruptura y módulo de Young.

La comparación de sus propiedades mecánicas se hizo en base a un control elaborado con PVA donde, para su resistencia a la ruptura se obtuvieron mejores resultados con PVA/CT y PVA/4CT-AT; en el caso de módulo de Young ninguna placa mejoró los valores del control. El valor de la fabricación de placas con CT-AT radicó en reutilizar un residuo generado en un experimental de remoción del colorante AT que por sí mismo fue relevante en base a sus % RC, yendo más allá y elaborando prototipos que funcionaran como bases de patas para sillas como se muestran en las imágenes del trabajo.

## Referencias

Akter N., Hossain A., Hassan M. J., Amin M. K., Elias M., Rahman M. M., Asiri A. M., Siddiquey Hasnat M. A., (2016). Amine modified tannin gel for adsorptive removal of Brilliant Green dye. Journal of Environmental Chemical Engineering, 4(1), 1231-1241. DOI:10.1016/j.jece.2016.01.013

Al-Tohamy R., Ali S.S., Li F., Okasha K.M., Mahmoud Y.A.G., Elsamahy T., Jiao H., Fu Y., Sun J., (2022). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. Ecotoxicology and Environmental Safety, 231, 113160. DOI:10.1016/j.ecoenv.2021.113160

Amalina F., Syukor A., Razak a., Krishnan S., Zularisam A.W., Nasrullah M., (2022). Dyes removal from textile wastewater by agricultural waste as an absorbent – A review. Cleaner Waste Systems, 3, 100051. DOI:10.1016/j.clwas.2022.100051.

Bretanha M., Dotto G. L., Vaghetti G., Dias S., Lima E., Pavan F., (2016). Giombo persimmon seed (GPS) an alternative adsorbent for the removal Toluidine Blue dye from aqueous solutions. Desalination and Water Treatment. DOI: 10.1080/19443994.2016.1179223

Chaudhary P., Varshney N., Singh D., Janmeda P., (2022). Analysis of pharmacognostical standardization, antioxidant capacity and separation of phytocompounds from five different vegetable peels using different solvents. Environment Conservation Journal, 23 (3),247-259. DOI:10.36953/ECJ.15102433.

Chen W., Ding J., Yan X., Yan W., He M., Yin G., (2019). Plasticization of Cottonseed Protein/Polyvinyl Alcohol Blend Films. Polymers, 11, 2096. DOI: 10.3390/polym11122096

Dutta S., Adhikary S., Bhattacharya S., Roy D., Chatterjee S., Chakraborty A., Banerjee D, Ganguly A., Nanda S., Rajak P., (2024). Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation. Journal of Environmental Management, 353, 120103. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.120103.

Goyi A.A., Sher Mohammad N.M., Omer K.M., (2024). Preparation and characterization of potato peel derived hydrochar and its application for removal of Congo red: a comparative study with potato peel powder. International Journal of Environmental Science Technology, 21, 631–642. DOI: 10.1007/s13762-023-04965-y.

Hassan M. J., Islam M. F., Akter N. M. N., Uddin A. Y., Abir S. B., M. A., Aoun A., Hasnat M. A., (2021). Applicability of gypsum in selective removal of anionic dye molecules from aqueous medium. Applied Water Science, 11, 7. DOI:10.1007/s13201-020-01336-7

Hernao L. V., Rojas I. D., Giraldo G. A., (2009). Cuantificación de celulosa proveniente de residuos de la industria del mueble. Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, 8, 23-28.

Husien S., Reem M., El-taweel, Khlood A., Alrefaey, Labena A., Fahim I.S., Said L. A., Radwan A. G., (2023). Experimental investigation of methyl-orange removal using eco-friendly cost-effective materials raw fava bean peels and their formulated physical, and chemically activated carbon. Current Research in Green and Sustainable Chemistry, 7, 100373. DOI:10.1016/j.crgsc.2023.100373.

Khan A., Ju P, Han Z, Ni C., (2024). A comprehensive review on adsorptive removal of azo dyes using functional materials. *AQUA - Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73 (2), 266–285. DOI: 10.2166/aqua.2024.292

Lafi R., Rezma S., Hafiane A., (2014). Removal of toluidine blue from aqueous solution using orange peel waste (OPW). Desalination and Water Treatment. DOI: 10.1080/19443994.2014.982962

Lakshmi M., Vivek D., Vijayalakshmi S., Ranjitha J., Saravanan A. M., (2021). A review on removal of industrial dyes using low cost natural adsorbents. *AIP Conference Process*, 2396 (1), 030008. DOI:10.1063/5.0066425

Medadurai K., Pandiarajan, N., Balasubramanian, B., Pandiarajan, B., (2023). Fabrication and Testing of Crop Waste Ceiba pentandra Shell Powder Reinforced Biodegradable Composite Films. ACS Omega, 8, 45. DOI: 10.1021/acsomega.3c05577

Meghwal K., Kumawat, S., Ameta, C., Jangid, N. K., (2020). Effect of Dyes on Water Chemistry, Soil Quality, and Biological Properties of Water. In: Wani K., Jangid N., Bhat A. (Eds.), Impact of Textile Dyes on Public Health and the Environment. IGI Global, Pensilvania Estados Unidos, pp 90-114. DOI:10.4018/978-1-7998-0311-9.ch005

Rosanti A.D., Kusumawati Y., Hidayat F., Fadlan A., Wardani A.R., Anggraeni H.A., (2022). Adsorption of Methylene Blue and Methyl Orange from Aqueous Solution using Orange Peel and CTAB-Modified Orange Peel. Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry, 9(1):237-246. DOI: 10.2166/ws.2024.049

Sandermann W., Rothkamm M., (1959). Über die Bedeutung der pH-Werte von Handelshölzern und deren Bedeutung fur die Praxis. Holz als Roh- und Werkstoff. European Journal of Wood Products, 17, 11.

Shakoor S., Nasar A., (2017). Adsorptive treatment of hazardous methylene blue dye from artificially contaminated water using cucumis sativus peel waste as a low-cost adsorbent. Groundwater for Sustainable Development, 5, 152-159. DOI: 10.1016/j.gsd.2017.06.005.

Singh, P. K., Singh, R. L., (2017). Bio-removal of Azo Dyes: A Review. International Journal of Applied Sciences and Biotechnology, 5(2), 108–126. DOI: 10.3126/ijasbt.v5i2.16881

Torres-Panduro, V. (1998). Componentes de calidad en 40 materiales de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa*, Brot.). Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Universidad de Guadalajara.

Vaiano V., De Marco I., (2023). Removal of Azo Dyes from Wastewater through Heterogeneous Photocatalysis and Supercritical Water Oxidation. *Separations*, 10(4), 230. DOI: 10.3390/separations10040230.