

Removal of a dye used in the textile industry using avocado seed Hass variety as a bio-adsorbent

Elvis Gilmar Gonzales-Condori, D.Sc.(c)¹, Giancarlo Avalos-López, BEng. ¹, Jonathan Gonzales-Condori, St.², and Rosa Alvarez-Gonzales, Q.F.³

¹Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Av. Tacna y Arica 160, Arequipa, Perú, elvgonzalesc@gmail.com, giankarlo124@gmail.com

²Universidad Católica de Santa María (UCSM), Urb. San José s/n Umacollo, Arequipa, Perú, jogonzaco@gmail.com

³Universidad Privada Autónoma del Sur (UPADS), Arequipa, Perú, rosalizethag@gmail.com

Abstract– Arequipa is a Peruvian city that produces a significant amount of avocado. This generates a significant amount of avocado seeds that are discarded without any use. The present research proposes Hass avocado seed as a promising bio-adsorbent of a textile dye (Novacron Navy FNB) from contaminated water at laboratory scale. The percentage of dye removal by avocado seed powder was studied taking into account the effect of factors of interest in the adsorption processes such as pH, bio-adsorbent dosage and particle size. Adsorption kinetics and Zero Charge Point were evaluated. The results show that avocado seed powder removes 97.46 % of a 100 mg/L Novacron Navy FNB solution at pH=2, a dose of 1 g/25 mL and a particle size of 75-150 μm. The adsorption process was adjusted to pseudo-second order kinetics with the limiting factor being chemisorption. The point of zero charge was $pH_{pzc}=5.56$ and considering that adsorption process is better at pH=2, it can be said that one of the bio-adsorption mechanisms of this process would be electrostatic attraction. This study has demonstrated that the Hass avocado seed is a renewable resource with dye adsorption capacity and can be tested to evaluate its removal capacity in textile wastewater, since it is an abundant and low-cost waste.

Keywords: Avocado seed, bio-adsorbent, textile dye, kinetics, point of zero charge.

Remoción de un colorante de uso en la industria textil utilizando pepa de palta variedad Hass como bio-adsorbente

Elvis Gilmar Gonzales-Condori, D.Sc.(c)¹, Giancarlo Avalos-López, BEng.¹, Jonathan Gonzales-Condori, St.², and Rosa Alvarez-Gonzales, Q.F.³

¹Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Av. Tacna y Arica 160, Arequipa, Perú, elvgonzalesc@gmail.com, giancarlo124@gmail.com

²Universidad Católica de Santa María (UCSM), Urb. San José s/n Umacollo, Arequipa, Perú, jogonzaco@gmail.com

³Universidad Privada Autónoma del Sur (UPADS), Arequipa, Perú, rosalizethag@gmail.com

Resumen– Arequipa es una de las ciudades del Perú que produce una importante cantidad de palta. Esto genera una gran cantidad de pepas de palta que son desechadas sin ningún uso. La presente investigación propone a la pepa de palta variedad Hass como un prometedor bio-adsorbente de un colorante textil (Novacron Navy FNB) de aguas contaminadas a escala de laboratorio. Se estudió el porcentaje de remoción del colorante por el polvo de pepa de palta teniendo en cuenta el efecto de factores de interés en los procesos de adsorción como pH, dosis de bio-adsorbente y tamaño de partícula. También se evaluó la cinética adsorción y el Punto de Carga Cero. Los resultados muestran que el polvo de pepa de palta logra remover el 97.46 % de una solución de Novacron Navy FNB de 100 mg/L a condiciones de pH=2, una dosis de 1 g/25 mL y un tamaño de partícula de 75-150 μm . El proceso de adsorción se ajustó a una cinética de pseudo segundo orden siendo el limitante del proceso la quimisorción. El punto de carga cero fue de $\text{pH}_{\text{PZC}}=5.56$ y teniendo en cuenta que el proceso de adsorción es mejor a pH=2 se puede decir que uno de los mecanismos de bio-adsorción de este proceso sería la atracción electrostática. Con este estudio se ha demostrado que la pepa de palta variedad Hass es un recurso renovable con capacidad de adsorción de colorantes y puede ser probado para evaluar su capacidad de remoción en aguas residuales textiles ya que es un residuo abundante y de bajo costo.

Palabras clave: Pepa de palta, bio-adsorbente, colorante textil, cinética, punto de carga cero.

I. INTRODUCCIÓN

La industria textil es una de las industrias más antiguas [1] que está dedicado a la producción de fibras, telas, hilados y otros productos vinculados con la ropa y la vestimenta [2]. Este sector se caracteriza generar residuos contaminantes [3], además, necesita gran cantidad de agua para sus procesos productivos [4] generando una importante cantidad de aguas residuales [3] que representan una fuente importante de contaminación ambiental que causa graves peligros y amenazas a todas las formas de vida [5], [6], razón por la cual, estas aguas residuales deben tratarse adecuadamente antes de su descarga final para la seguridad de los ecosistemas acuáticos y la salud pública [5]. En la actualidad se plantean diferentes métodos de tratamiento de

aguas contaminadas ya que los métodos convencionales de limpieza de las aguas residuales son de elevados costos. Algunos procesos incluyen el intercambio de iones, la adsorción, la extracción con disolventes y la precipitación, por este motivo, están surgiendo tecnologías nuevas y más baratas que utilizan la biomasa disponible localmente [7]. Actualmente, el Perú es uno de los principales exportadores de palta a nivel mundial [8], [9], siendo Arequipa uno de los departamentos del Perú que se dedica al cultivo de palta. Los residuos de la palta corresponden a las cáscaras y a las pepas que son desechadas sin uso alguno, pese a que estudios han demostrado su potencial aplicación para remover contaminantes del medio ambiente como cromo, plomo [10], cadmio [11] y arsénico [12] de forma natural [10] o mediante modificaciones físicas como la elaboración de carbón activado [11], [13]–[15]. Por tal motivo, en la presente investigación tuvo como principal objetivo utilizar residuos de pepa de palta variedad Hass como potencial bio-adsorbente para remover el colorante Novacron Navy FNB de aguas contaminadas a escala de laboratorio, esto con la finalidad de promover más estudios sobre este biomaterial en relación a su capacidad en la remoción de contaminantes ambientales.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materiales y reactivos

Todos los reactivos utilizados en la presente investigación fueron adquiridos de Merck. El colorante fue gentilmente proporcionado por una Industria Textil de Arequipa, Perú dedicada al teñido de lana. La cuantificación del colorante se realizó en el Espectrofotómetro UV-Vis Thermo Scientific Genesys 150.

B. Obtención procesamiento del bio-adsorbente

Las pepas de palta variedad Hass fueron recolectadas del Distrito de Uchumayo de la ciudad de Arequipa, las cuales fueron lavadas con abundante agua destilada y fueron secadas en una estufa a 60 °C [16] durante 96 horas. Una vez secas las pepas fueron pulverizadas en un molino de cuchillas. El pulverizado fue lavado con abundante agua destilada y fue secado en una estufa a 60 °C durante 48 horas (Figura 1).

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

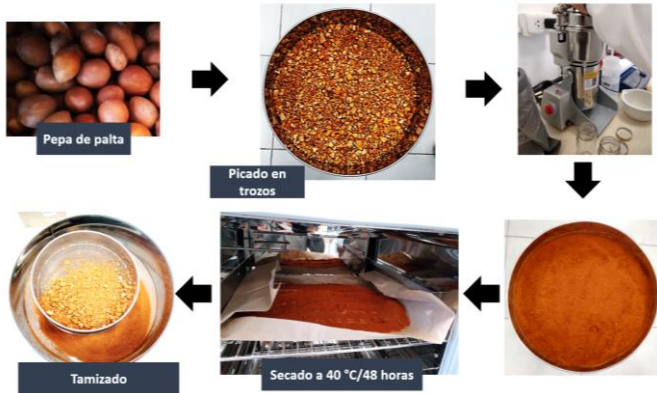


Fig. 1. Procesamiento de la pepa de palta variedad Hass

C. Condiciones del proceso de adsorción y análisis de muestras

El sistema de agitación consistió en agitadores magnéticos programados a 300 rpm. La solución de colorante Novacron Navy FNB fue preparada en agua destilada a una concentración de 100 mg/L. Cada experimento se realizó con un volumen de 25 mL de la solución coloreada. El pH del sistema para los estudios de adsorción se ajustó utilizando HCl 0.1 M y NaOH 0.1 M. Finalizados los experimentos, las muestras fueron centrifugadas a 6000 rpm por 10 minutos y el sobrenadante fue analizado por espectrofotometría a 590 nm.

El método espectrofotométrico utilizando tuvo un coeficiente de determinación $R^2=0.9994$ y la ecuación de la recta fue $y=0.0277x-0.0023$. Esta ecuación se obtuvo como resultado de elaborar una curva de calibración graficando la concentración “x” de Novacron Navy (0.5-25 mg/L) vs sus respectivas absorbancias “y” a 590 nm. El cálculo del porcentaje de remoción se calculó utilizando la siguiente fórmula[17]:

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

Donde, “ C_i ” es la concentración inicial del colorante en mg/L y “ C_f ” es la concentración final de colorante en mg/L.

D. Evaluación del efecto del tamaño de partícula en el proceso de adsorción

El pulverizado de pepa de palta seco fue clasificado por tamaños en tamices ASTM (American Society for Testing and Materials) utilizando tamices con diámetro de rejilla de 75, 150, 300, 425 y 600 μm . Se obtuvieron tamaños de partícula variables en rangos diferentes los cuales corresponden a tamaños de partícula de <75 μm , 75 a 150 μm , 150 a 300 μm , 300 a 425 μm y 425 a 600 μm . Con cada uno de estos

pulverizados de diferentes tamaños se realizaron experimentos de adsorción del colorante Novacron Navy FNB.

Los experimentos de adsorción consistieron en medir 25 mL de una solución de 100 mg/L de Novacron Navy FNB en cinco vasos de precipitados, luego, se empezó la agitación a 300 rpm y se ajustó el pH a 3. Posteriormente, se agregaron 0.25 g de pulverizado de pepa de palta de cada tamaño de partícula a cada vaso en constante agitación. Se dejó el sistema agitando durante 180 minutos, esto se presenta de forma esquemática en la Figura 2. Finalizado el tiempo, se analizaron las muestras por espectrofotometría.

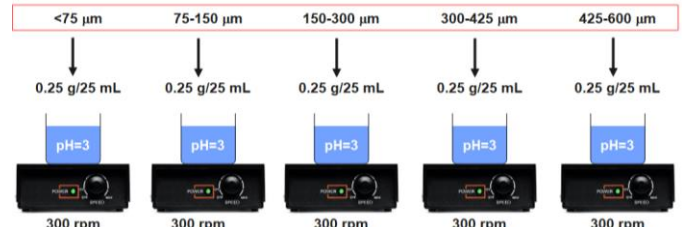


Fig. 2. Proceso de evaluación el efecto del tamaño de partícula de pepa de palta en la remoción del colorante Novacron Navy FNB.

E. Evaluación del efecto de la dosis en el proceso de adsorción

Una vez definido el tamaño de partícula ideal se procedió a evaluar el efecto de la dosis de adsorbente en el proceso de adsorción del colorante Novacron Navy FNB.

Los experimentos consistieron en medir 25 mL de una solución de 100 mg/L de Novacron Navy FNB en cuatro vasos de precipitados, luego, se empezó la agitación a 300 rpm y se ajustó el pH a 3 con HCl 0.1 M e NaOH 0.1 M.

Posteriormente, se agregaron 0.25, 0.5, 0.75 y 1 g de pulverizado de pepa de palta de tamaño de partícula de mayor eficiencia de adsorción a cada vaso en constante agitación siendo las dosis de pepa de palta correspondientes a 0.25, 0.5, 0.75 y 1 g/25 mL. Se dejó el sistema agitando durante 180 minutos, esto se presenta de forma esquemática en la Figura 3.

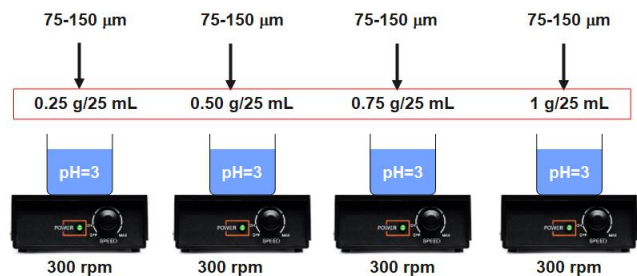


Fig. 3. Proceso de evaluación el efecto la dosis de pepa de palta en la remoción del colorante Novacron Navy FNB.

E. Evaluación del pH en el proceso de adsorción

Los experimentos consistieron en medir 25 mL de una solución de 100 mg/L de Novacron Navy FNB en cuatro vasos

de precipitados, luego, se empezó la agitación a 300 rpm y se ajustó el pH a valores de 2, 3, 4 y 5 con HCl 0.1 M e NaOH 0.1 M. Posteriormente, se agregó la dosis de pepa de palta de tamaño de partícula de mayor eficiencia de remoción a cada vaso en constante agitación y se dejó el sistema agitando durante 180 minutos. esto se presenta de forma esquemática en la Figura 4.

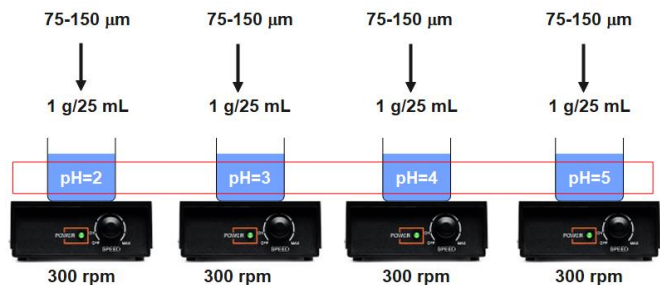


Fig. 4. Proceso de evaluación el efecto del pH en la remoción del colorante Novacron Navy FNB utilizando pepa de palta.

F. Evaluación de la cinética de adsorción

El estudio cinético se realizó a valores de pH, dosis de adsorbente y tamaño de partícula que logran la mayor remoción del colorante Novacron Navy FNB.

Los experimentos se realizaron utilizando 250 mL del colorante Novacron Navy FNB a una concentración de 100 mg/L, luego, se empezó la agitación a 300 rpm y se ajustó el pH a 2 con HCl 0.1 M e NaOH 0.1 M. Posteriormente, se agregó 10 g de pulverizado de pepa de palta de tamaño de 75-150 µm a cada vaso en constante agitación. Se dejó el sistema agitando durante 180 minutos. Se tomaron muestras de 3 mL a tiempos 0, 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 minutos, luego se analizaron las muestras por espectrofotometría.

Para el estudio de la cinética de adsorción se tuvo en cuenta el cálculo de la capacidad de adsorción “ q_t ” expresado en mg/g utilizando la siguiente fórmula:

$$q_t = \frac{C_i - C_f}{m} \times V \quad (2)$$

Donde: “ m ” es la masa de adsorbente utilizada en gramos y “ V ” el volumen del sistema de agitación en litros.

G. Determinación del punto de carga cero

Se determinó el Punto de Carga Cero (pH_{PZC}) que corresponde al pH al cual la carga del adsorbente es cero y esto se determinó mediante el procedimiento planteado por Bakatula *et al.* [18], este procedimiento consistió en añadir en 10 matraces de 250 mL un volumen de 40 mL de una solución de $NaNO_3$ 0.1 M, luego, se ajustó el pH inicial con HNO_3 al 0.1 M e NaOH al 0.1 M a pH de 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11 utilizando un pH-metro HANNA. Posteriormente, se agregó 0.05 g de pepa de palta pulverizada de tamaño de partícula de

75-150 µm a los matraces y se empezó la agitación a 150 rpm en un agitador magnético durante 24 horas. Finalizado el tiempo, se filtraron las soluciones y cada filtrado se llevó a vasos de 100 mL donde se midió el pH final.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Efecto del tamaño de partícula

En la Figura 5 se presenta el gráfico de barras del efecto del tamaño de partícula de pepa de palta en el porcentaje de remoción del colorante Novacron Navy FNB de medios acuosos donde se observa que el tamaño de partícula de 75-150 µm es el que logra remover con mayor eficiencia el colorante de aguas contaminadas. Se puede observar que el tamaño de partícula < 75 µm remueve menor concentración del colorante. Esto podría deberse a que, cuando el tamaño de partícula disminuye demasiado su tamaño las estructuras porosas pueden verse afectadas dando como resultado y menor eficiencia en experimentos de adsorción [19].

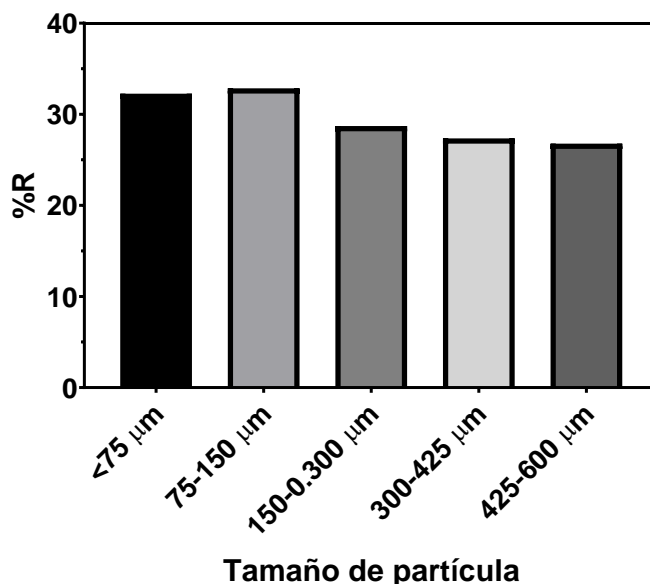


Fig. 5. Gráfico de barras del efecto del tamaño de partícula de pepa de palta en la remoción del colorante Novacron Navy FNB de agua.

B. Efecto de la dosis de bio-adsorbente

En la Figura 6 se presenta el gráfico de barras del efecto de la dosis de adsorbente en la remoción del colorante Novacron Navy FNB de medios acuosos donde se observa que la dosis de 1 g/25 mL es la que logra remover con mayor eficiencia el colorante de aguas contaminadas. Esto se debería a que la relación de la fase sólida y líquida son determinantes en un proceso de adsorción ya que al incrementar la dosis de adsorbentes se incrementan los sitios disponibles para la adsorción lo cual repercute en un incremento del porcentaje de remoción [20].

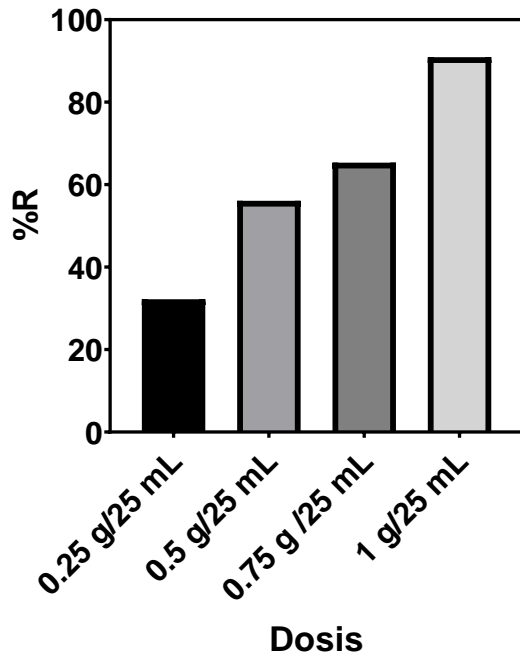


Fig. 6. Gráfico de barras del efecto de la dosis de pepa de palta en la remoción del colorante Novacron Navy FNB de agua.

C. Efecto del pH

En la Figura 7 se presenta el gráfico de barras del efecto del pH en la remoción del colorante Novacron Navy FNB de medios acuosos donde se observa que el pH=2 es el que logra remover con mayor eficiencia el colorante de aguas contaminadas. Esto se debería a que a valores de pH bajos la superficie del material estaría cargado positivamente dándole la propiedad de atraer electrostáticamente a aniones como es el caso de colorantes aniónicos [21].

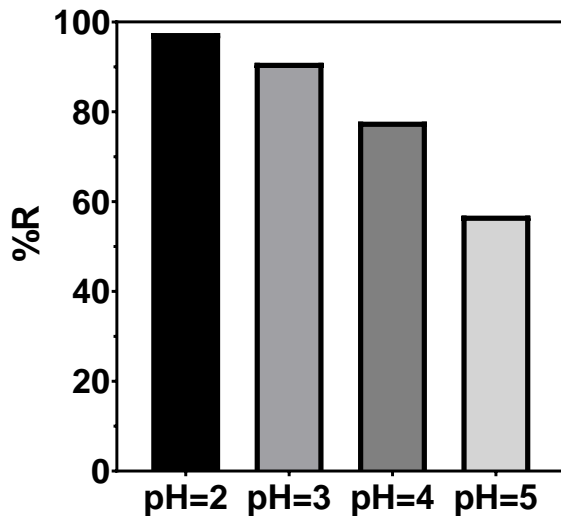


Fig. 7. Gráfico de barras del efecto del pH en la remoción del colorante Novacron Navy FNB de agua utilizando pepa de palta.

D. Cinética

El estudio cinético adsorción del colorante Novacron Navy FNB se evaluó utilizando los modelos no lineales de pseudo primer orden y pseudo segundo orden. La ecuación cinética de pseudo primer orden [22] se muestra a continuación:

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (3)$$

Dónde “ k_1 ” es la constante de velocidad de primer orden, “ q_t ” es la capacidad de adsorción a un tiempo “ t ” y “ q_e ” es la capacidad de adsorción en el equilibrio [23].

La ecuación cinética de pseudo segundo orden se presenta a continuación [22]:

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e^2 t} \quad (4)$$

Donde; “ k_2 ” es la constante de velocidad del modelo de pseudo segundo orden

Asimismo, también se evaluó el modelo de quimisorción de Elovich cuyo modelo se muestra a continuación:

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(1 + \alpha \beta t) \quad (5)$$

Donde, α y β son las constantes de Elovich, que representan la tasa de adsorción inicial ($\text{g/mg} \cdot \text{min}^2$) y el coeficiente de desorción ($\text{mg/g} \cdot \text{min}$) respectivamente [24], [25].

En la Figura 8 se presenta el gráfico del porcentaje de remoción del colorante Novacron Navy FNB utilizando pepa de palta en función del tiempo donde se observa que es aproximadamente a los 30 minutos donde el proceso se hace constante disminuyendo la velocidad de adsorción.

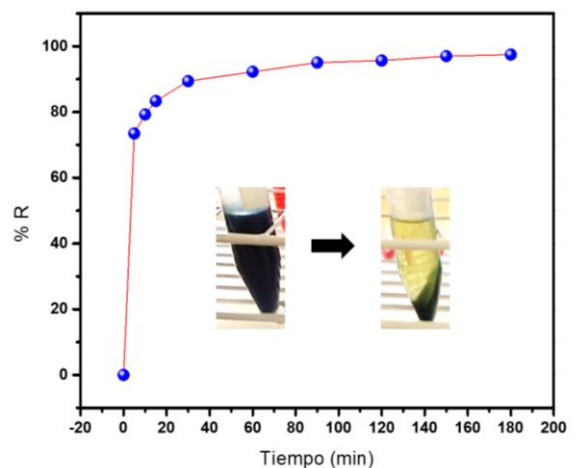


Fig. 8. Gráfico del porcentaje de remoción del colorante Novacron Navy FNB de agua utilizando pepa de palta a diferentes concentraciones del colorante.

También se observa el aspecto del agua contaminada antes y después del proceso de remoción del colorante en estudio. Se logró remover a los 180 minutos el 97.46 % del colorante. Otro estudio encontró que el grano del carozo logró reducir en un 90 % las concentraciones del colorante azul de metileno con una concentración inicial de 500 mg/L donde se demostró que el tiempo de contacto y la dosis del adsorbente juegan un rol importante en los procesos de adsorción [26].

En la Figura 9 se muestra el gráfico donde se evalúan los ajustes de los modelos cinéticos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y Elovich. Se puede notar que el ajuste de los modelos de pseudo segundo orden y Elovich es mejor que el modelo de pseudo primer orden. El modelamiento matemático se realizó en el software OriginPro 9.0.

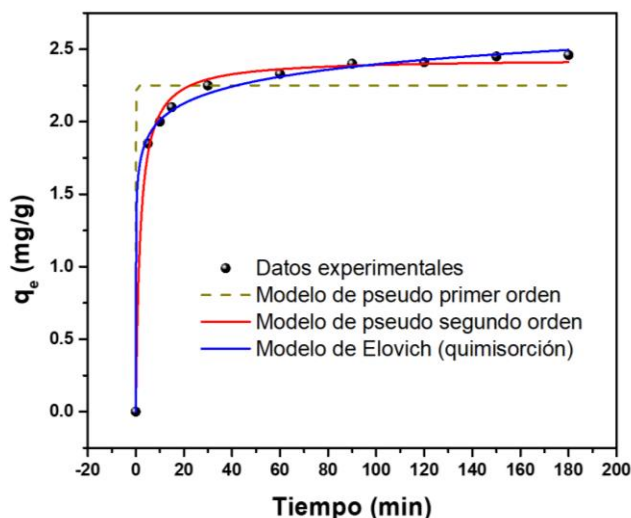


Fig. 9. Gráfico del estudio cinético utilizando los modelos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y Elovich correspondientes a la remoción del colorante Novacron Navy FNB de soluciones acuosas utilizando pepa de palta.

La adsorción puede involucrar mecanismos de adsorción química, física o de intercambio iónico lo cual depende de la naturaleza de cada adsorbente [27]. En la Tabla I se presentan los valores de los parámetros de los modelos cinéticos estudiados. Para la elección del modelo se tomó en cuenta el coeficiente R^2 de los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.

El modelo de pseudo segundo orden presenta un valor del coeficiente R^2 mayor al del modelo de pseudo primer orden. Entonces, el proceso sigue un modelo de pseudo segundo orden. Esto indica que el proceso de adsorción correspondería a una quimisorción [28]. Esto último se confirma con la aplicación del modelo de Elovich donde los valores de R^2 son mayores y más cercanos a la unidad que los modelos de pseudo primer orden y pseudo segundo orden.

TABLE I
VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LOS MODELOS CINÉTICOS DE PSEUDO PRIMER ORDEN, PSEUDO SEGUNDO ORDEN Y ELOVICH PARA EL PROCESO DE ADSORCIÓN DE NOVACRON NAVY FNB

Modelo	Parámetro	Valor
Valor experimental	q_{exp} (mg/g)	2.40
Pseudo primer orden	k_1 (min^{-1})	0.265
	q_{escal} (mg/g)	2.250
	R^2	0.9126
Pseudo segundo orden	k_2 ($\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$)	0.219
	q_{escal} (mg/g)	2.44
	R^2	0.9953
Elovich (Quimisorción)	α ($\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-2}$)	2639.98
	β (g mg^{-1})	5.954
	R^2	0.9982

E. Punto de carga cero

Para el cálculo del punto de carga cero (pH_{PZC}) se graficó el pH inicial vs el valor de ΔpH (pH final-pH inicial). El valor del punto de carga cero fue de 5.56 como se observa en la Figura 10.

El pH es un factor importante en el proceso de adsorción ya que para las condiciones estudiadas el pH para lograr la mayor remoción corresponde al $\text{pH}=2$ (Figura 7) y teniendo en cuenta que el Punto de Carga Cero de la Figura 10 que muestra que el pH_{PZC} es 5.56. A este valor el pH de la pepa de palta es de cero y por debajo de este la palta estaría cargada positivamente confirmando las interacciones electrostáticas entre el colorante y la pepa de palta siendo estas interacciones características en la quimisorción.

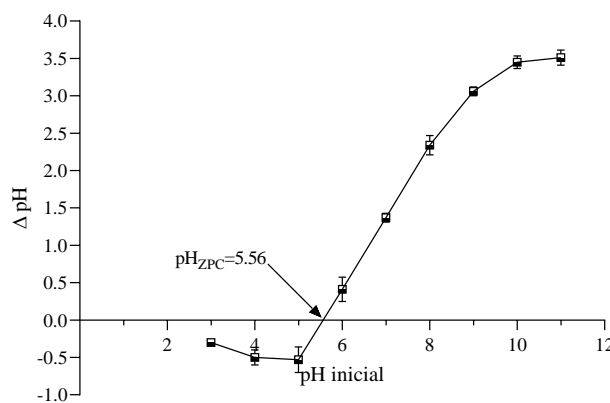


Fig. 10. Punto de carga cero de la pepa de palta

En la Figura 11 se observa el color de la pepa de palta antes y después del proceso de adsorción del colorante Novacron Navy FNB. Se nota que el color cambia demostrando su capacidad de adsorción del color.

Polvo de pepa de palta antes de la adsorción



Polvo de pepa de palta después de la adsorción



Fig. 11. Color de la pepa de palta antes y después de la adsorción del colorante textil Novacron Navy FNB.

IV. CONCLUSIÓN

Se logró demostrar la eficiencia de adsorción del colorante textil Novacron Navy FNB por el polvo de pepa de palta. Las mejores condiciones para remover el colorante del agua utilizando pepa de palta como bio-adsorbente son a un pH=2, dosis de 1 g/25 mL y un tamaño de partícula de 75-150 μm . Se logró remover el 97.46 % lo que demuestra la capacidad de adsorción que presenta este residuo. La cinética del proceso de adsorción sigue un modelo de pseudo segundo orden siendo la quimisorción el factor limitante. El análisis del punto de carga cero demostró que el proceso de adsorción correspondería un proceso de atracción electrostática. La pepa de palta ha demostrado poseer propiedades adsorbentes para un colorante textil. Esto hace que el uso de la pepa de palta para remover colorantes textiles sea una alternativa de bajo costo, de fácil implementación y sobre todo amigable con el medio ambiente.

REFERENCES

- [1] L. Ranasinghe y V. M. Jayasooriya, «Ecolabelling in textile industry: A review», *Resources, Environment and Sustainability*, vol. 6, p. 100037, dic. 2021, doi: 10.1016/j.resenv.2021.100037.
- [2] D. Rincón-Restrepo y J. Sanabria-Guerrero, «Estudio comparativo de evaluación del ciclo de vida de procesos tratamiento de aguas residuales de una industria textil en Medellín», 2021, Accedido: 21 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/25928>
- [3] M. B. Sánchez y C. Uribe, «Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil», *Revista Campus*, vol. 23, n.º 26, Art. n.º 26, oct. 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rc/article/view/1369>
- [4] E. Gilpavas, P. E. Arbeláez-Castaño, J. D. Medina-Arroyave, y C. M. Gómez-Atehortua, «Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante

coagulación química acoplada a procesos fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia», *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 34, n.º 1, pp. 157-167, 2018, doi: 10.20937/rica.2018.34.01.14.

- [5] R. Kishor *et al.*, «Environment friendly degradation and detoxification of Congo red dye and textile industry wastewater by a newly isolated *Bacillus cohnii* (RKS9)», *Environmental Technology & Innovation*, vol. 22, p. 101425, may 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.101425.
- [6] S. Afrin *et al.*, «The degradation of textile industry dyes using the effective bacterial consortium», *Heliyon*, vol. 7, n.º 10, p. e08102, oct. 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e08102.
- [7] P. Rajasulochana y V. Preethy, «Comparison on efficiency of various techniques in treatment of waste and sewage water – A comprehensive review», *Resource-Efficient Technologies*, vol. 2, n.º 4, pp. 175-184, dic. 2016, doi: 10.1016/j.refit.2016.09.004.
- [8] A. M. Quiroz, «Evaluación de la cadena de valor de la producción del aceite de palta peruana y propuestas competitivas», *Ingeniería Industrial*, n.º 41, Art. n.º 41, oct. 2021, doi: 10.26439/ing.ind2021.n41.5543.
- [9] «Instituto Nacional de Estadística e Informática». <https://m.inei.gov.pe/prensa/noticias/produccion-de-palta-crecio-152-en-marzo-de-2021-por-mejores-condiciones-climaticas-12892/>
- [10] S. P. Boeykens, N. Redondo, R. A. Obeso, N. Caracciolo, y C. Vázquez, «Chromium and Lead adsorption by avocado seed biomass study through the use of Total Reflection X-Ray Fluorescence analysis», *Applied Radiation and Isotopes*, vol. 153, p. 108809, nov. 2019, doi: 10.1016/j.apradiso.2019.108809.
- [11] M. V. F. Kudo *et al.*, «Performance of Avocado Seed Activated Carbon as Adsorbent for Highly Sensitive Determination of Cd Using a Flow Injection System Online Coupled to TS-FF-AAS», *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 31, pp. 100-108, ene. 2020, doi: 10.21577/0103-5053.20190132.
- [12] K. C. Mqhehe-Nedzivhe, K. Makhado, O. F. Olorundare, O. A. Arotiba, E. Makhatha, y P. N. N. and N. Mabuba, *Bio-adsorbents for the Removal of Heavy Metals from Water*. IntechOpen, 2018. doi: 10.5772/intechopen.73570.
- [13] D. I. Mendoza-Castillo, H. E. Reynel-Ávila, A. Bonilla-Petriciolet, C. Pastore, y L. di Bitonto, «Avocado seeds valorization as adsorbents of priority pollutants from water», *Bulgarian Chemical Communications*, vol. 51, n.º Special Issue B, pp. 124-127, sep. 2019, doi: 10.34049/bcc.51.B.009.
- [14] J. M. Michuki, «Optimizing conditions for preparing activated carbon from avocado seeds for best adsorption of lead ions from wastewater», Thesis, Kenyatta University, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://ir-library.ku.ac.ke/handle/123456789/14275>

- [15] A. Leite *et al.*, «Activated carbon from avocado seeds for the removal of phenolic compounds from aqueous solutions», *Desalination and water treatment*, vol. 71, pp. 168-181, abr. 2017, doi: 10.5004/dwt.2017.20540.
- [16] M. Xiong, M. Yang, Q. Chen, y T. Cai, «Mechanism studies for adsorption and extraction of soluble sodium from bauxite residue: Characterization, kinetics, and thermodynamics», *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, n.º 4, p. 108183, ago. 2022, doi: 10.1016/j.jece.2022.108183.
- [17] V. Zea-Linares, B. M. Salazar-Pinto, J. A. Villanueva-Salas, y E. G. Gonzales-Condori, «Optimization of Cd (II) and Pb (II) biosorption using *Olea europea* endocarp in bimethal solutions», presentado en Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology, 2021, vol. 2021-July. doi: 10.18687/LACCEI2021.1.1.134.
- [18] E. N. Bakatula, D. Richard, C. M. Neculita, y G. J. Zagury, «Determination of point of zero charge of natural organic materials», *Environ Sci Pollut Res*, vol. 25, n.º 8, pp. 7823-7833, mar. 2018, doi: 10.1007/s11356-017-1115-7.
- [19] C. Lyu *et al.*, «The Effect of Particle Size on the Interpretation of Pore Structure of Shale by N₂ Adsorption», *Geofluids*, vol. 2021, p. e8898142, abr. 2021, doi: 10.1155/2021/8898142.
- [20] Z. Tang, H. Wu, Q. Wen, y L. HU, «Effect of Adsorbent Dosage to Adsorbate Concentration Ratio on the Adsorption of Cd(II) on Coal Gangue: Towards a Sustainable Geoenvironment», 2019, pp. 428-435. doi: 10.1007/978-981-13-2221-1_45.
- [21] B. Vojnović, M. Cetina, P. Franjković, y A. Sutlović, «Influence of Initial pH Value on the Adsorption of Reactive Black 5 Dye on Powdered Activated Carbon: Kinetics, Mechanisms, and Thermodynamics», *Molecules*, vol. 27, n.º 4, p. 1349, feb. 2022, doi: 10.3390/molecules27041349.
- [22] B. M. Salazar-Pinto, V. Zea-Linares, J. A. Villanueva-Salas, y E. G. Gonzales-Condori, «Cd (II) and Pb (II) biosorption in aqueous solutions using agricultural residues of *Phaseolus vulgaris* L.: Optimization, kinetics, isotherms and desorption», *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. 20, n.º 1, Art. n.º 1, 2021, doi: 10.24275/rmiq/IA1864.
- [23] J. Lin y L. Wang, «Comparison between linear and non-linear forms of pseudo-first-order and pseudo-second-order adsorption kinetic models for the removal of methylene blue by activated carbon», *Front. Environ. Sci. Eng. China*, vol. 3, n.º 3, pp. 320-324, sep. 2009, doi: 10.1007/s11783-009-0030-7.
- [24] J. Yang, B. Huang, y M. Lin, «Adsorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution by a Chitosan/Bentonite Composite: Isotherm, Kinetics, and Thermodynamics Studies», *J. Chem. Eng. Data*, vol. 65, n.º 5, pp. 2751-2763, may 2020, doi: 10.1021/acs.jced.0c00085.
- [25] B. Chen, W. Yue, H. Zhao, F. Long, Y. Cao, y X. Pan, «Simultaneous capture of methyl orange and chromium(VI) from complex wastewater using polyethylenimine cation decorated magnetic carbon nanotubes as a recyclable adsorbent», *RSC Adv.*, vol. 9, n.º 9, pp. 4722-4734, feb. 2019, doi: 10.1039/C8RA08760A.
- [26] J. R. Balladares Gonzales, «Efecto del tamaño de grano del carozo de Cocos nucífera (COCO) y el tiempo de contacto en el poder adsorbente», *Universidad Nacional de Trujillo*, 2019, [En línea]. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/15263>
- [27] R. Surkatti, M. H. Ibrahim, y M. H. El-Naas, «Chapter 7 - Date pits activated carbon as an effective adsorbent for water treatment», en *Sorbents Materials for Controlling Environmental Pollution*, A. Núñez-Delgado, Ed. Elsevier, 2021, pp. 135-161. doi: 10.1016/B978-0-12-820042-1.00007-9.
- [28] Y.-G. Chen, W.-M. Ye, X.-M. Yang, F.-Y. Deng, y Y. He, «Effect of contact time, pH, and ionic strength on Cd(II) adsorption from aqueous solution onto bentonite from Gaomiaozhi, China», *Environ Earth Sci*, vol. 64, n.º 2, pp. 329-336, sep. 2011, doi: 10.1007/s12665-010-0850-6.