

ARTICLE / INVESTIGACIÓN

Empleo de Hidróxidos Dobles Laminares como material adsorbente en el tratamiento de aguas contaminadas por ácido pícrico, experiencia realizada en la UNAH año 2018

Use of Lamellar Double Hydroxides as adsorbent material in the treatment of water contaminated by picric acid, experience carried out at UNAH in 2018

Fredy Rodríguez¹, Heydi Rodríguez¹

DOI. 10.21931/RB/2022.07.03.3

¹ Departamento de Química, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), Tegucigalpa, Honduras.
Corresponding author: fredy.rodriguez@unah.edu.hn

Resumen: La contaminación de fuentes de agua por la industria química es uno de los graves problemas medioambientales y, por ende, de salud que atraviesa la humanidad. El objetivo del siguiente trabajo fue determinar la capacidad descontaminante de un conjunto de nanopartículas conocidas comúnmente como hidróxidos dobles laminares (HDL) o compuesto de tipo hidrotalcita (HT). Se realizó la síntesis de los mismos y la posterior caracterización por espectroscopía infrarroja con el fin de analizar su capacidad como material adsorbente en tratamiento de aguas contaminadas por ácido pícrico en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH) en los meses comprendidos de marzo a julio del 2018. Para el estudio se utilizó la técnica de análisis de colorimetría para la determinación de las cantidades adsorbidas por los HDL y el descenso de concentraciones iniciales de las soluciones. La información obtenida se procesó y los resultados fueron expresados en términos numéricos y porcentuales, así como en gráficos. Los resultados mostraron que el mayor descenso de la concentración de la solución de ácido pícrico y, por consiguiente, la mayor cantidad del mismo retenido en la superficie del material adsorbente sintetizado, se alcanzó a las 2 horas de contacto con agitación constante, demostrando su capacidad descontaminante como un material adsorbente de fácil y económica preparación.

Palabras clave: Contaminación de agua, remediación ambiental, adsorbentes, tratamiento de agua, adsorción.

Abstract: The contamination of water sources by the chemical industry is one of the serious environmental problems and, therefore, of health that humanity is going through. The objective of the following work was to determine the decontaminating capacity of a set of nanoparticles commonly known as lamellar double hydroxides (HDL) or hydrotalcite-type compounds (HT). The synthesis of the same and the subsequent characterization by infrared spectroscopy were carried out to analyze their capacity as adsorbent material in the treatment of water contaminated by picric acid in the Faculty of Chemistry and Pharmacy of the National Autonomous University of Honduras (UNAH) in the months from March to July 2018. For the study, the colorimetry analysis technique was performed to determine the amounts adsorbed by HDL and the decrease in initial concentrations of the solutions. The results showed that the most significant decrease in the concentration of the picric acid solution and, consequently, the most outstanding amount of same retained on the surface of the adsorbent material synthesized hours was achieved at 2 hours of contact with constant concentration, demonstrating its capacity decontaminant as an adsorbent material of easy and economical preparation.

Key words: Water pollution, environmental remediation, adsorbents, water treatment, adsorption.

Introducción

Un problema de gran magnitud es la contaminación ambiental, que es originada por fuentes naturales, así como por las actividades humanas. Los diversos procesos industriales de naturaleza química y el aumento día tras día de la población contribuyen al incremento de contaminación de las fuentes de agua, produciendo un déficit de este preciado recurso^{1,2}. La presencia de contaminantes en el agua hace necesario un estricto control y eliminación de los mismos, sobre todo cuando estas van destinadas al consu-

mo humano. Para resolver esta problemática, dado el gran número y variedad de sustancias, medios y condiciones de aplicación, es necesario la utilización de una variedad de técnicas de remediación. Entre algunas de estas técnicas se pueden mencionar: El intercambio iónico, adsorción, coagulación, extracción con disolvente, filtración, electrolisis y biodegradación¹.

La adsorción es una de las técnicas de remediación ambiental en aguas contaminadas más prometedora debido

Citation: Rodríguez H, Rodríguez F. Empleo de Hidróxidos Dobles Laminares como material adsorbente en el tratamiento de aguas contaminadas por ácido pícrico, experiencia realizada en la UNAH año 2018. *Revis Bionatura* 2022;7(3) 3. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.03.3>

Received: 25 March 2022 / **Accepted:** 15 July 2022 / **Published:** 15 August 2022

Publisher's Note: Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright: © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



a su efectividad, fácil operación y diseño sencillo y económico, es capaz de eliminar contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos en bajas concentración sin la introducción de especies nocivas al medio. Este proceso consiste en la eliminación de una especie contaminante contenida en una disolución al ser retenida en la superficie de un material o sustancia. La adsorción es un proceso físico-químico dinámico mediante el cual un contaminante se enlaza en la superficie de un material en particular. Después de realizar el proceso de adsorción se mide la concentración de contaminante que queda en el sobrenadante (disolución) lo que se conoce como concentración de equilibrio (C_e), y mediante la ecuación $C_s = \frac{(C_i - C_e)V}{m}$ (Ecuación 1)

$$C_s = \frac{(C_i - C_e)V}{m} \quad (\text{Ecuación 1})$$

se puede determinar la concentración o cantidad de contaminante adsorbida, en donde:

C_s = Concentración adsorbida

C_i = Concentración inicial de la disolución que se desea descontaminar

C_e = Concentración de equilibrio

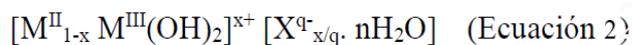
V = Volumen de disolución utilizado en la experiencia de adsorción

m = masa del material adsorbente utilizada en la experiencia de adsorción

El carbón activo es uno de los adsorbentes más utilizados para la eliminación de diversos contaminantes, debido a que presenta una elevada área superficial, alto grado de reactividad superficial, así como un volumen, tamaño de poro adecuados que permiten la accesibilidad de la superficie interna, permitiendo absorber una gran cantidad de gases, vapores y solutos en disolución, aunque presenta el inconveniente de un elevado costo. La búsqueda de nuevos materiales que presenten propiedades adsorbentes se incrementa año con año por lo que se podido destacar el uso alúmina activada^{3,4}, las zeolitas⁵, las arcillas y los hidróxidos dobles laminares (HDLs) como sus productos calcinados^{6,7}.

Los Hidróxidos Dobles Laminares (HDLs) son también conocidos comúnmente como Hidrotalcitas (HT) son Hidroxicarbonatos de Magnesio y Aluminio que fueron sintetizados por primera vez en el año 1935 por Feitknecht mediante la reacción que resulto por la combinación de diluciones diluidas de sales metálica de cationes divalentes y trivalentes en medio básico, dando lugar a una estructura de doble lamina⁸. Las Hidrotalcitas se encuentran constituidas por capas de hidróxidos metálicos en las cuales han ocurrido sustituciones isomórficas de cationes divalentes

por cationes trivalentes, generando un exceso de cargas positivas que son contrarrestadas por la presencia de aniones en la región interlaminar. La fórmula general de estos tipos de compuestos es la siguiente:



En donde:

MII (Cación divalente): Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} ...

MIII (Cación Trivalente): Al^{3+} , Fe^{3+} ...

$X^{q-}_{x/q} \cdot nH_2O$ (anión interlaminar acompañado con moléculas de agua): CO_3^{2-} , Cl^-

La estructura de los HDLs está íntimamente relacionada con la estructura de la brucita, en la cual el magnesio está coordinado octaédricamente con seis grupos hidróxidos (OH), estos octaedros están dispuestos de tal manera que comparten sus caras formando laminas bidimensionales que están unidas por fuerzas de Van der Waals, cuando se sustituye el Mg^{2+} por metales por cationes trivalentes como Al^{3+} se obtienen estructuras tipos Hidrotalcita (HDLs), tal como se muestra en la Fig. 1.

Como resultado de sus particulares propiedades físicas y químicas además de su fácil síntesis, estos compuestos día con día son objeto de estudio para la aplicación de diversos campos como ser la catálisis, tecnología de medicamentos y últimamente como adsorbente de diferentes contaminantes^{6,10-13}.

El ácido pícrico es considerado un contaminante prioritario ya que causa la contaminación de los sistemas acuáticos y los suelos cuando es liberado al medio ambiente¹⁵. Tiene diversas aplicaciones como colorante, utilizado en minas terrestres y explosivos, fungicidas y pesticidas, así como sus aplicaciones en la industria de tintes, farmacéutica y de cuero¹⁶⁻¹⁸.

El ácido pícrico puede causar daños masivos a los seres humanos afectando el sistema respiratorio, la piel, los ojos¹⁹, puede producir anemia, náuseas, vómitos y daño hepático¹⁶, además, el ácido pícrico al ser metabolizado en el organismo se convierte en el subproducto 2-amino-4,6-dinitrofenol que tiene 10 veces más actividad mutagénica que el ácido pícrico¹⁵.

El ácido pícrico, o también conocido como 2,4,6- trinitrofenol, es un sólido cristalino amarillento, con un peso molecular 229.10 g/mol y una densidad de 1.76 g/ml que presenta la siguiente estructura química (Fig.2):

El siguiente trabajo tiene como objetivo la obtención de HDLs y evaluar su utilización como un material adsorbente

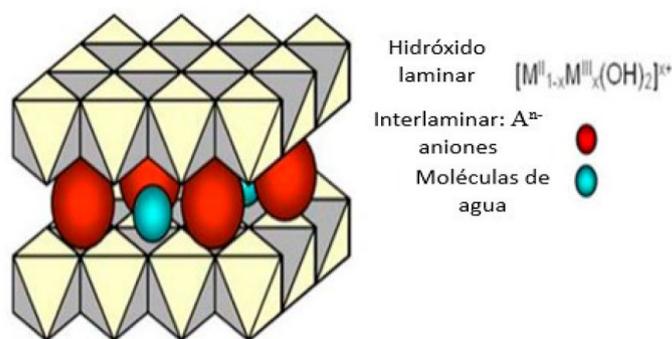


Figura 1. Estructura de la brucita⁹.

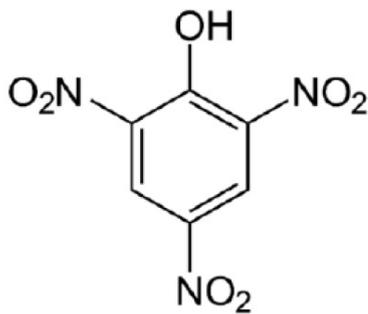


Figura 2. Estructura química del Ácido pícrico (2,4,6-Trinitrofenol)¹⁴.

de ácido pícrico (2,4,6-Trinitrofenol) para el tratamiento de aguas residuales en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

Materiales y métodos

El estudio presenta un enfoque de tipo cuantitativo, ya que éste usa la recolección de datos para comprobar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías²⁰. El diseño del estudio es experimental de tipo transversal con alcance descriptivo, ya que estudiará la capacidad adsorbente de un Hidróxido doble laminar sintetizado haciendo uso de la observación y recolección de datos por medio de la medición del descenso de las concentraciones de ácido pícrico de una solución acuosa de concentración conocida cuando está en contacto con el sólido sintetizado en periodos de tiempo de 1, 2, 5, 12 y 24 horas, con alcance descriptivo por la descripción de comportamiento de las variables.

La población objeto de estudio son todos los materiales con capacidad adsorbente que actualmente se encuentran disponibles en el medio, entre ellos los hidróxidos dobles laminares y entre ellos los HDLs constituidos por Magnesio y aluminio en proporción 2:1 intercalados con aniones carbonato y sulfatos en el espacio interlaminar sintetizados en el laboratorio de investigación "Elvira Castejon" de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras en el mes de Marzo del año 2018 que fueron seleccionados como objeto de estudio en esta investigación, analizando su efecto descontaminante por medio de la técnica de adsorción.

La síntesis de los HDLs se llevó a cabo mediante el método de Coprecipitación, que consiste en la reacción simultánea de sales de Mg^{2+} y Al^{3+} con una sal de CO_3^{2-} en medio básico el cual es necesario para que se produzca la precipitación de los cationes. Las soluciones que se prepararon para realizar el procedimiento fueron:

Solución A: 0.72g de $MgSO_4$ + 1.03 g de $AlSO_4$ en 100 ml de agua destilada

Solución B: 0.26 g de Na_2CO_3 + 0.72g de NaOH en 100 ml de agua destilada

Ya preparadas las soluciones se procedió a realizar la precipitación añadiendo gota a gota la solución A sobre la solución B que se encontraba en agitación constante con ayuda de un embudo de separación, finalizando el proceso, la suspensión obtenida se dejó reposar 48 horas. A continuación, se centrifugó en una centrifuga de tamaño pequeño de la marca LW-Scientific modelo C-3 select durante 5 minutos a 2000 rpm, se decantó el sobrenadante y se

realizó 3 lavados al sólido con agua destilada, volviendo a centrifugar en las mismas condiciones y decantando los sobrenadantes, posteriormente se seca el sólido a 75 °C durante 24 horas, posteriormente al secado se procedió a triturarlos.

Mediante la técnica de espectroscopía infrarroja se caracterizó el material adsorbente sintetizado, así como el contaminante utilizado (ácido pícrico) y el complejo obtenido en las experiencias de adsorción. Esta técnica implica la utilización de energía infrarroja, la cual puede provocar excitación de los niveles vibracionales de los enlaces de los grupos funcionales en la muestra. Las bandas de un espectro infrarrojo (IR) corresponde a cambios en el modo de vibración en las muestras analizadas. De esta manera se tiene información sobre la estructura de la molécula. Los espectros infrarrojos de las distintas muestras fueron registrados en un espectrofotómetro de infrarrojo Agilent Technologies Cary 630 FTIR y dada la configuración de este no presentaba los espectros resultantes en valores de transmitancia, sino que, en absorbancia, por tanto, se procedió describir picos de absorbancia característicos y no bandas de transmitancia características en este análisis de los modos de vibración de la muestra analizada.

Para realizar el estudio de adsorción se preparó una solución estándar acuosa de ácido pícrico, para ello se pesó 1.145 g de ácido pícrico que se disolvieron en 1 litro de agua destilada, posteriormente se procedió a realizar una curva de calibrado con la que partiendo del valor medido de las absorbancias en el colorímetro se calculó el valor de la concentración de equilibrio (C_e) de cada una de las muestras en las diferentes experiencias. Para la realización de dicha recta se prepararon diferentes diluciones a partir de la solución de ácido pícrico antes mencionada, las cuales presentaban las siguientes concentraciones: 0.286, 0.572, 0.859, 0.973 y 1.145 mg/L midiendo las absorbancias en cada una y posterior tratamiento para obtener las absorbancias corregidas, tal como se muestra en la Fig. 3.

Para la evaluación del proceso de adsorción en todos los experimentos se realizó mediante el siguiente esquema de trabajo:

a) Se colocaron 0.025g de sólido adsorbente (HDLs sintetizados) en un tubo de centrifuga y a continuación se añadió 20 mL de una disolución acuosa de ácido pícrico a una concentración de 1.145 mg/L.

b) Los tubos se sometieron a una agitación durante el tiempo de estudio (1, 2, 5, 12 y 24 horas), con una agitación manual a una velocidad aproximada de 25 rpm.

c) Posteriormente al tiempo transcurrido de agitación se procedió a centrifugar las muestras a 2000 rpm durante 10 minutos, con el objetivo de sedimentar el material adsorbente y separarlo de la solución contaminante que se ha tratado.

d) Al finalizar el centrifugado, se filtró el sobrenadante de cada tubo con una jeringa y un filtro de poro de 0.2 μm , de manera que el sólido en suspensión no se haya mezclado con el sobrenadante.

e) Por último, se determinó la absorbancia en el colorímetro a una longitud de onda de 368 nm, para luego calcular la concentración de equilibrio (C_e) de cada muestra.

f) Se procedió a determinar la cantidad de ácido pícrico adsorbida por gramo de adsorbente (C_s), mediante la diferencia entre su concentración inicial y la que queda en la disolución de equilibrio, mediante la siguiente ecuación:

$$C_s = \frac{(C_i - C_e)V}{m} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En donde:

- o C_i = Concentración inicial de la disolución que se desea descontaminar
- o C_e = Concentración de equilibrio
- o V = Volumen de disolución utilizado en la experiencia de adsorción
- o m = masa de adsorbente utilizada en la experiencia de adsorción.

Por último, se realizó un análisis de espectroscopia IR del complejo formado entre la Hidrotalcita y el ácido pícrico después de la adsorción.

Resultados

Caracterización del material adsorbente (HDL's) por Espectroscopia IR

En la Figura 4 se incluye el espectro IR del HDL Magnesio- Aluminio 2:1 sintetizado, en dicho espectro el eje x corresponden a las longitudes de onda (Wave number) en unidades de cm^{-1} en donde ocurren los modos de vibración de los grupos funcionales; en el eje y corresponde a las absorbancias en unidades de absorbancia (AU) de los modos de vibración antes mencionados, dada la configuración del espectrofotómetro IR por absorbancia se observa picos de

absorción característicos alrededor de 3500 cm^{-1} que indica la presencia de grupos OH de las láminas y que es provocada por la vibración de tensión de los mismos. Aproximadamente a 3020 cm^{-1} se observa una pequeña cresta de un pequeño pico que indican la interacción mediante puente de hidrógeno, entre el anión carbonato (CO_3^{2-}) y el agua entre las interláminas. En 1650 cm^{-1} se observa un pequeño pico correspondiente a la vibración de tensión de las moléculas de agua y el pico a 1380 cm^{-1} correspondiente a la vibración del anión carbonato (CO_3^{2-}). En torno a los 1200 a 1140 cm^{-1} se registra un pequeño pico de absorción correspondiente al modo de vibración del anión sulfato (SO_4^{2-}). Por último, los picos registrados a valores por debajo de 800 cm^{-1} se deben a las vibraciones de tensión de los enlaces metal-oxígeno de Magnesio y Aluminio.

Caracterización del contaminante (Ácido pícrico) por Espectroscopia IR

En la Figura 5 se observa el espectro IR del ácido pícrico, al igual que en el espectro anterior el eje x corresponden a las longitudes de onda (Wave number) en unidades de cm^{-1} en donde ocurren los modos de vibración de los grupos funcionales; en el eje y corresponde a las absorbancias en unidades de absorbancia (AU) de los modos de vibración antes mencionados, en esta ocasión se observan las siguientes vibraciones fundamentales: picos caracterís-

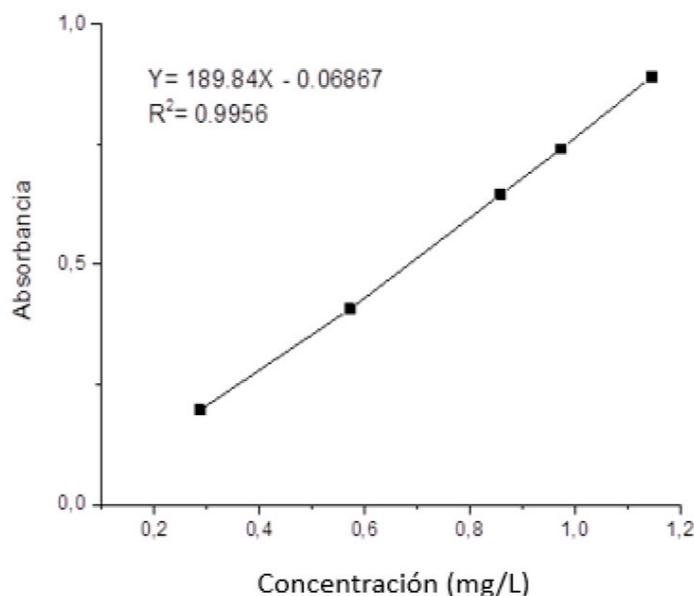


Figura 3. Recta de Calibrado para el análisis de adsorción del Acido Pícrico.

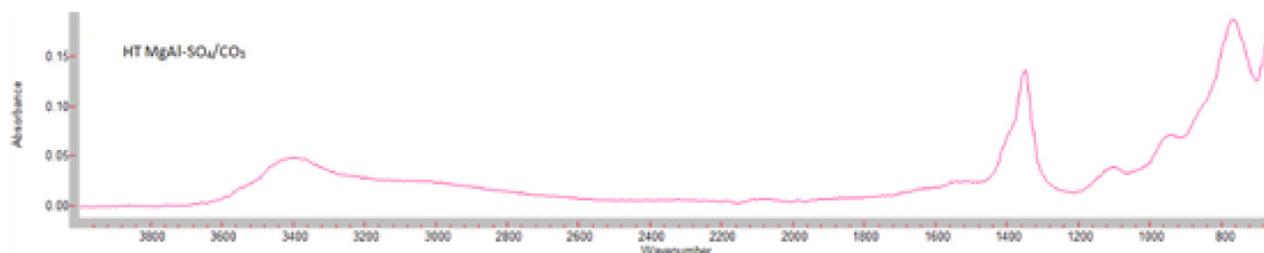


Figura 4. Espectro Infrarrojo del HDL (HT) Magnesio-Aluminio. En el eje de las X tenemos representada la longitud de onda (cm^{-1}) y en el eje de las Y tenemos representado a las absorbancias (AU).

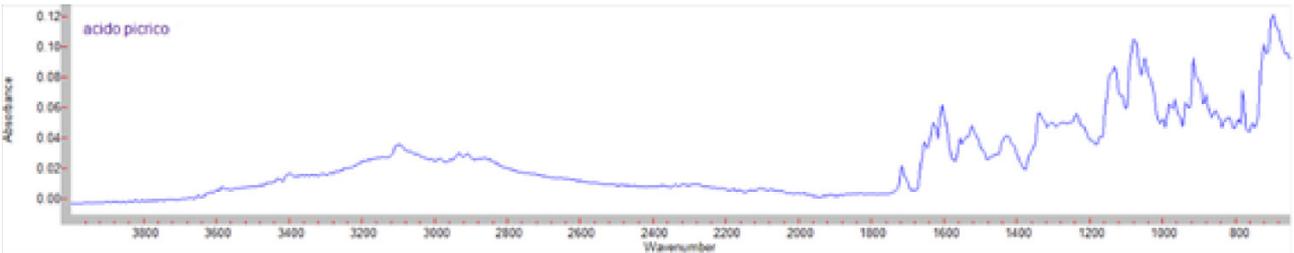


Figura 5. Espectro Infrarrojo del ácido pícrico. En el eje de las X tenemos representada la longitud de onda (cm^{-1}) y en el eje de las Y tenemos representado a las absorbancias (AU).

tos de la tensión de vibración de los enlaces C-H del anillo aromático alrededor de 3105 cm^{-1} , vibraciones de los dobles enlaces C=C aromáticos a 1640 y 1430 cm^{-1} , vibración de tensión simétrica y antisimétrica de los grupos nitros a 1521 y 1345 cm^{-1} respectivamente la tensión del enlace C-O a 1259 cm^{-1} y por último, la vibración de deformación del enlace O-H del grupo fenol a 1149 cm^{-1} .

Estudio de adsorción (Influencia del tiempo de contacto)

En la Fig. 6 se puede observar que la mayor cantidad adsorbida tiene lugar a las 2 horas con agitación constante. A partir de dicho tiempo, los valores de las cantidades adsorbidas no aumentan, si no que pareciera que se obtiene un poco de desorción hasta alcanzar una cantidad adsorbida constante a las 12 horas de agitación.

Caracterización del complejo obtenido después de la adsorción (HDL + ácido pícrico)

En la Figura 7 se observa el espectro IR del complejo formado por el HDL $\text{MgAl-SO}_4/\text{CO}_3$ con el ácido pícrico, en el cual el eje x corresponden la las longitudes de onda

(Wave number) en unidades de cm^{-1} en donde ocurren los modos de vibración de los grupos funcionales; en el eje y corresponde a las absorbancias en unidades de absorbancia (AU) de los modos de vibración antes mencionados, tras el proceso de adsorción se mantienen los picos característicos tanto de los HDL como del ácido pícrico. Se observan un pico alrededor de $3450-3500 \text{ cm}^{-1}$ correspondiente al modo de vibración de tensión de los grupos hidroxilos, picos en torno a los 3000 a los 3100 cm^{-1} correspondiente a la tensión de vibración de los enlaces C-H del anillo aromático, así mismo, picos alrededor de los 1640 a a 1430 cm^{-1} correspondiente a las vibraciones de los dobles enlaces C=C del anillo aromático de las moléculas de ácido pícrico. Así mismo, se observan picos aproximadamente a 1650 cm^{-1} correspondiente a la vibración de tensión de las moléculas de agua, se mantiene, aunque en menor intensidad la banda entorno a los 1380 cm^{-1} a la vibración del anión carbonato y por último, se observa la aparición de un pico aproximadamente a 1259 cm^{-1} correspondiente a la vibración de deformación de los grupos OH del fenol de la estructura del ácido pícrico.

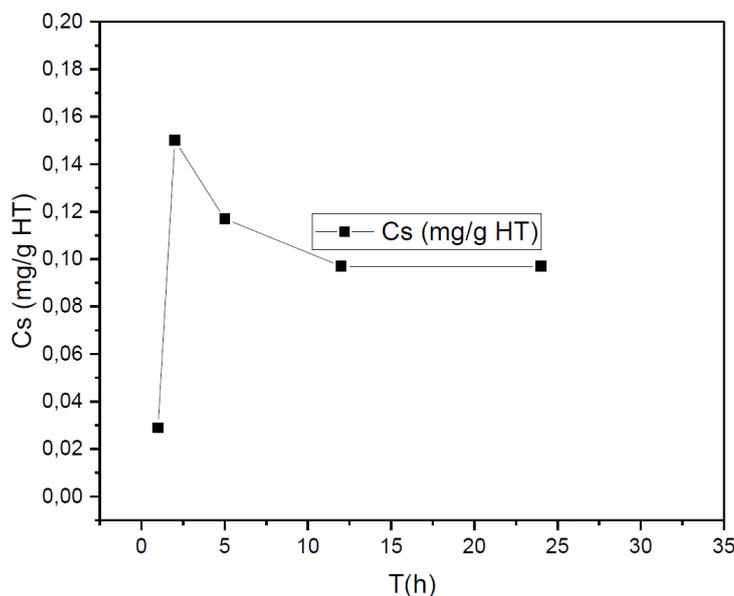


Figura 6. Influencia del tiempo de contacto en la adsorción del ácido pícrico.

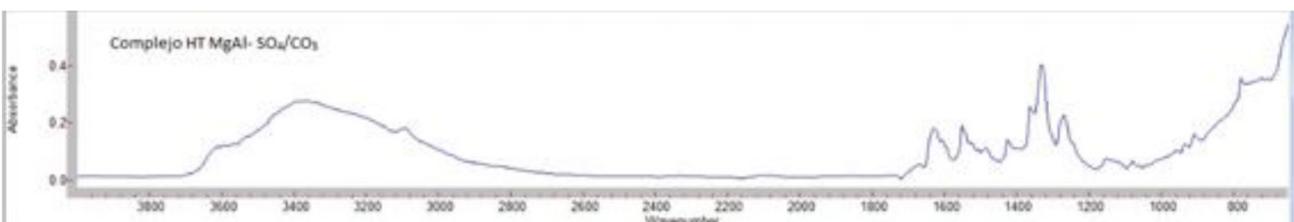


Figura 7. Espectro Infrarrojo del complejo HDL $\text{MgAl-SO}_4/\text{CO}_3$ con el ácido pícrico. En el eje de las X tenemos representada la longitud de onda (cm^{-1}) y en el eje de las Y tenemos representado a las absorbancias (AU).

Discusión

Con los datos obtenidos en el estudio queda evidenciada la obtención de los HDL reflejadas en la aparición de picos de absorción característicos de estos compuestos intercaladas con aniones carbonatos y sulfatos en los espectros infrarrojos, tal como lo demuestran otros estudios^{2, 21, 22}, siendo ésta la única técnica de caracterización con la que se pudo contar, limitando un poco la investigación, ya que para una confirmación más exacta se hubiera deseado realizar un análisis de difracción de rayos X, tantos de los materiales sintetizados como de los complejos resultantes con el contaminante^{23, 24}. Con respecto a los resultados de los experimentos de influencia del tiempo de contacto queda demostrado que este tipo de nanopartícula puede utilizarse como un material adsorbente que favorece la descontaminación de aguas residuales que contengan ácido pícrico de diferentes lugares o industrias que trabajen con este tipo de compuestos tal es el caso de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras o diferentes industrias químicas que utilicen estos compuestos, siendo similares a otros estudios donde demuestran que los HDL favorece la descontaminación de aguas con otro tipo de contaminantes con estructura muy similar al contaminante estudiado²⁵, así como el acercamiento de los porcentajes de adsorción de este contaminante en otros tipo de materiales²⁶.

Conclusiones

Se logró sintetizar hidróxidos Dobles Laminares constituidos por Magnesio y Aluminio en proporción 2:1 intercalados con aniones carbonato y sulfatos por el método de coprecipitación, materiales económicos y de fácil de obtención, los cuales en esta experiencia se demostró que el mayor valor de adsorción en la superficie de ellos se alcanzó de manera rápida a las 2 horas de iniciadas las experiencias con la agitación constante, por lo que estos materiales pueden ser utilizados para la eliminación de ácido pícrico, siendo un método nada perjudicial para el medio ambiente.

Contribuciones de los autores

Conceptualización, F.R.; Metodología, F.R y H.R.; análisis formal, F.R y H.R.; investigación, F.R y H.R.; Escritura, revisión y edición, F.R y H.R.

Agradecimientos

A Cristhian López Zorrillas, graduado en Química de la Universidad de Córdoba, España, por su valiosa ayuda y experiencia en este tema para poder replicarlo en la Universidad Nacional Autónoma de Honduras. A los jóvenes estudiante de la Facultad de Química y Farmacia, Jefrie Dubón y Henry Rodríguez, por el valioso apoyo en el área de química analítica, el cual ha desarrollado con calidad de conocimiento y ayuda a la comunidad universitaria. Al laboratorio Aduanero de la Dirección de Aduanas, por su valiosa colaboración al proporcionarlo su espectro infrarrojo para realizar este estudio.

Conflictos de Interés

No existen conflictos de intereses entre los autores.

Referencias bibliográficas

1. Rojas, R. Layered double hydroxides applications as sorbents for environmental remediation. Capítulo 2, páginas 40-71 (Nova Science Publishers, Inc., 2012).
2. Abdellaoui, K.; Pavlovic, I. & Barriga, C. Nanohybrid Layered Double Hydroxides Used to Remove Several Dyes from Water. *chemengineering*, 2019, 1–16.
3. Kasprzyk-hordern, B. Chemistry of alumina , reactions in aqueous solution and its application in water treatment. *Adv. in Colloid and interf. Sci.* 2004, 110, 19–48.
4. Aghapour, A. A.; Khorsandi, H.; Deghani, A. & Karimzade, S. Preparation and characterization and application of activated alumina (AA) from alum sludge for the adsorption of fluoride from aqueous solutions: New approach to alum sludge recycling. *Water Sci. Technol. Water Supply.*, 2018, 18, 1825–1831.
5. Misaelides, P. Microporous and Mesoporous Materials Application of natural zeolites in environmental remediation : A short review q. *Microporous Mesoporous Mater.*, 2011, 144, 15–18.
6. Pavlovic, I.; Barriga, C.; Hermosín, M. C.; Cornejo, J. & Ulibarri, M. A. Adsorption of acidic pesticides 2,4-D, Clopyralid and Picloram on calcined hydrotalcite. *Appl. Clay Sci.*, 2005, 30, 125–133.
7. Abdellaoui, K.; Pavlovic, I.; Bouhent, M.; Benhamou, A. & Barriga, C. A comparative study of the amaranth azo dye adsorption/desorption from aqueous solutions by layered double hydroxides. *Appl. Clay Sci.*, 2017, 143, 142–150.
8. Cavani, F.; Trifirò, F. & Vaccari, A. Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications. *Catal. Today.*, 1991, 11, 173–301.
9. Romero-Ortiz, G.; Samaniego-Benítez, E.; Lartundo-Rojas, L.; Flores-Jiménez, Y. Tzompantzi, F.; Mantilla, A. Aplicación del hidróxidos dobles laminares de ZnCuAl modificados con SDS como fotocatalizadores para el tratamiento eficiente de agua contaminada con compuestos orgánicos. *Av. Investig. en nanociencias, micro y nanotecnologías*, 2020, 117–131.
10. Jing H.; Li, B.; Yu, E.; David, G.; Duan, X. Preparation of layered double hydroxides. *Layer. Double Hydroxides*, 2006, 119, 89–119.
11. Chaara, D.; Bruna, F.; Draoui, K.; Ulibarri, M. A.; Barriga, C.; Pavlovic, I. study of key parameters affecting adsorption of the herbicide Linuron on organohydrotalcites. *Appl. Clay Sci.*, 2012, 58, 34–38.
12. González, M. A.; Pavlovic, I. & Barriga, C. Cu(II), Pb(II) and Cd(II) sorption on different layered double hydroxides. A kinetic and thermodynamic study and competing factors. *Chem. Eng. J.*, 2015, 269, 221–228.
13. He, W.; Wang, R.; Zhang, L.; Zhu, J.; Xiang, X.; Li, F. Enhanced photoelectrochemical water oxidation on a BiVO₄ photoanode modified with multi-functional layered double hydroxide nanowalls. *J. Mater. Chem. A.*, 2015, 3, 17977–17982.
14. Wyman, J. F.; Serve, M. P.; Hobson, D. W.; Lee, L. H. & Uddin, D. E. Acute toxicity, distribution, and metabolism of 2, 4, 6-trinitrophenol (picric acid) in fischer 344 rats. *J. Toxicol. Environ. Health.*, 1992, 37, 313–327.
15. Vinita, T. M. & Prakash, R. Colorimetric detection of picric acid using silver nanoparticles modified with 4-amino-3-hydrazino-5-mercapto-1,2,4-triazole. *Appl. Surf. Sci.*, 2018, 449, 174–180.
16. Ponnuel, K.; Banupriya, G. & Padmini, V. Highly efficient and selective detection of picric acid among other nitroaromatics by NIR fluorescent organic fluorophores. *Sensors Actuators, B Chem.*, 2016, 234, 34–45.
17. Mohseni Kafshgari, M. & Tahermansouri, H. Development of a graphene oxide/chitosan nanocomposite for the removal of picric acid from aqueous solutions: Study of sorption parameters. *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 2017, 160, 671–681.

18. Khakpour, R. & Tahermansouri, H. Synthesis, characterization and study of sorption parameters of multi-walled carbon nanotubes/chitosan nanocomposite for the removal of picric acid from aqueous solutions. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2018, 109, 598–610.
19. Huang, J.; Wang, L.; Shi, C.; Dai, Y.; Gu, C. & Liu, J. . Selective detection of picric acid using functionalized reduced graphene oxide sensor device. *Sensors Actuators, B Chem.* 2014, 196, 567–573.
20. Sampieri, R. *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL / Interamericana Editores, S.A. DE C.V., 2014.
21. Tichit, D.; Layrac, G. & Gérardin, C. Synthesis of layered double hydroxides through continuous flow processes: A review. *Chem. Eng. J.*, 2019, 302–332.
22. Yamaguchi, O.; Taguchi, H.; Miyata, Y.; Yoshinaka, M. & Shimizu, K. Characterization of magnesium-aluminum double hydroxide prepared from alkoxides and its products of thermolysis. *Polyhedron*, 1987, 6, 1587–1592.
23. Starukh, G. Photocatalytically Enhanced Cationic Dye Removal with Zn-Al Layered Double Hydroxides. *Nanoscale Res. Lett.*, 2017, 12, 2-8.
24. Tendeloo, G.; Witte, K.; Cool, P.; Seftel, E.M.; Popovici, E.; Mertens, M.; Vansant, E.F. Zn-Al layered double hydroxides: Synthesis, characterization and photocatalytic application. *Microporous Mesoporous Mater.*, 2007, 113, 296–304.
25. Li, N.; Chang, Z.; Dang, H.; Zhan, Y.; Lou, J.; Wang, S.; Attique, S.; Li, W.; Zhou, H.; Sun, C. Deep eutectic solvents assisted synthesis of MgAl layered double hydroxide with enhanced adsorption toward anionic dyes. *Colloid. and Surf.*, 2020, 591, 1–10.
26. Sepehrian, H., Fasihi, J. & Mahani, M. K. Adsorption Behavior Studies of Picric Acid on Mesoporous MCM, 2009, 41, 6772–6775 .