



# UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE”



# JOB $\pi$ BS

DACB • UJAT

## Journal of Basic Sciences

Volumen 10 • número 28 • mayo-agosto 2024

ISSN:2448-4997

<https://revistas.ujat.mx/index.php/jobs>





Es grato entregar a los lectores el número 28 del Journal of Basic Sciences, en donde se han integrado reportes de investigación alrededor de diferentes temáticas, con aspectos que cubren la búsqueda de estrategias sostenibles, el desarrollo de la ciencia de los materiales y aportaciones dirigidas a la enseñanza de las ciencias. Así, se presenta el desarrollo de una propuesta para la síntesis de bioplásticos a partir de un desecho agroindustrial como lo es la pectina, la cual se considera un recurso renovable y de fácil acceso. Mediante una serie de transformaciones químicas, se logró la obtención de un material polimérico con propiedades apropiadas para procesos térmicos. Por otro lado, ante la problemática derivada de una gestión inadecuada de residuos plásticos, se cuenta con estrategias de reciclaje de este tipo de materiales, con lo que se logran beneficios tanto al medio ambiente como a la economía, derivado de lo anterior, se desarrolló un estudio para reciclar polietileno de alta densidad para generar soportes que pueden ser empleados en la reparación de mobiliario escolar, proponiendo así una alternativa viable para reducir los residuos plásticos, obteniendo un material práctico con un gran potencial de utilidad. La ciencia de los materiales persigue el diseño y obtención de nuevas sustancias destinadas a cumplir funciones específicas, en función de un diseño apropiado de sus propiedades, en este tenor, se presenta un reporte para la obtención de materiales híbridos preparados a partir de grafito convenientemente tratado, con la finalidad de obtener electrodos para supercondensadores, que puedan tener una alta capacidad de almacenamiento energético. Este proceso se describe como económico y con la ventaja de poder ser realizado en un tiempo relativamente corto. Continuando con el diseño de nuevos materiales, se presenta la obtención de zeolitas modificadas con cobre mediante un proceso mecanoquímico. Este tipo de modificaciones permite generar propiedades novedosas, con aplicaciones inusuales. En el reporte incluido en este número, se describe la preparación de la zeolita modificada, su caracterización estructural y la comparación contra el material original, con la finalidad de estudiar el efecto del proceso aplicado. En otro orden de ideas, se incluye una contribución que explora el desarrollo de un recurso didáctico para aplicarlo en el aprendizaje de la química. Específicamente, se propone una estrategia lúdica basada en un cómic para facilitar la adquisición de conocimientos relacionados con la simetría molecular. Al mostrar diferentes facetas en donde se ve involucrado el desarrollo de las ciencias básicas, se espera que este número cumpla con las expectativas y resulte de interés para la comunidad de lectores del Journal of Basic Sciences.

## DIRECTORIO INSTITUCIONAL

### Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

- Lic. Guillermo Narvárez Osorio. Rector
- Dr. Luis Manuel Hernández Govea. Secretario de Servicios Académicos
- Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez. Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación
- Dr. Pablo Marín Olán. Director de Difusión, Divulgación Científica y Tecnológica

### Directorio Divisional

#### División Académica de Ciencias Básicas

- Dra. Hemicenda Pérez Vidal. Directora
- Dr. Luis Manuel Martínez González. Coordinador de Investigación
- M.C. Abel Cortazar May. Coordinador de Docencia
- L.Q. Esmeralda León Ramos. Coordinador de Difusión Cultural y Extensión

### Comité Editorial

- Dr. Carlos Ernesto Lobato García. Editor en Jefe
- Dr. Adib Abiu Silahua Pavón. Gestor Editorial
- Mtra. Claudia Gisela Vázquez Cruz. Editora Asociada. Actuaría
- Mtra. María Hortensia Almaguer Cantú. Editora Asociada. Ciencias de la Computación
- Dr. José Arnold González Garrido. Editor Asociado. Ciencias Farmacéuticas
- Dr. José Luis Benítez Benítez. Editor Asociado. Física
- Mtro. Guillermo Chávez Hernández. Editor Asociado. Geofísica
- Dra. Addy Margarita Bolívar Cimé. Editora Asociada. Matemáticas
- Dra. Nancy Romero Ceronio. Editoria Asociada. Química

## CONTENIDO

	Pag.
<b>Pectin Extracted from Orange Peel (Citrus Sinensis) to Obtain Bioplastic: Synergistic Effects with Alginate</b>	1-9
<b>Sustitución Sostenible del Tablero de MDF-Melamina en Mesas Binarias Desechadas en Instituciones de Educación Superior</b>	10-21
<b>Exfoliación mecánica relevante en la síntesis de materiales tipo polioxometalatos y GO</b>	22-35
<b>Síntesis mecanoquímica de zeolita A modificada con Cu</b>	36-42
<b>Implementación de un cómic para la enseñanza de simetría molecular en química</b>	43-55

## Síntesis mecanoquímica de zeolita A modificada con Cu

Murrieta-Rico, F. N.<sup>1,\*</sup>, Antúnez-García, J.<sup>2</sup>, Zamora, J.<sup>3</sup>, Xiao, M.<sup>4</sup>, Reyes-Serrato, A.<sup>4</sup>,  
Petranovskii, V.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Baja California, Ingeniería Mecatrónica

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias

<sup>3</sup>Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>4</sup>Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Nanociencias y Nanotecnología

\*fmurrietar@upbc.edu.mx

---

### Resumen

Las zeolitas son materiales cristalinos con una amplia gama de aplicaciones, cuya diversidad es posible debido a las propiedades de estos materiales. Entre sus características inherentes, se sabe que las zeolitas pueden ser modificadas con nanopartículas y clusters de otras especies químicas, lo que les otorga propiedades novedosas y permite encontrarles aplicaciones inusuales. Por lo tanto, el uso práctico de estos materiales puede mejorarse mediante la búsqueda de nuevos métodos de modificación y el estudio de los materiales resultantes. El objetivo de este trabajo es evaluar los resultados de la modificación mecanoquímica de la zeolita A con cobre. La zeolita A se sintetizó de acuerdo con la metodología estándar y luego se mezcló con sulfato de cobre y se sometió a molienda. La zeolita A original y la zeolita CuA modificada con cobre se examinaron mediante SEM, UV-Vis y XRD. Posteriormente, se compararon las características de ambas muestras y se estudió el efecto del ataque mecanoquímico.

**Palabras claves:** Zeolita A, Mecanoquímica, LTA, Cobre, Reducción de residuos

### Abstract

Zeolites are crystalline materials with a wide range of applications, the diversity of which is possible due to the properties of these materials. Among their inherent characteristics, it is known that zeolites can be modified with nanoparticles and clusters of other chemical species, which gives them novel properties and allows them to find unusual applications. Therefore, the practical use of these materials can be improved by searching for new modification methods and studying the resulting materials. The objective of this work is to evaluate the results of the mechanochemical modification of zeolite A with copper. Zeolite A was synthesized according to standard methodology and then mixed with copper sulfate and subjected to milling. The original zeolite A and copper-modified zeolite CuA were examined by SEM, UV-Vis, and XRD. Subsequently, the characteristics of both samples were compared and the effect of the mechanochemical attack was studied.

**Keywords:** Zeolite A, Mechanochemistry, LTA, Copper, Waste reduction

---

Recibido: 30 de mayo de 2024, Aceptado: 14 de agosto de 2024, Publicado: 30 de agosto de 2024

## 1. Introducción

La transformación de materiales permite ajustarlos para obtener características deseadas, con lo que se adecuan para aplicaciones particulares. Es por esto que continuamente se buscan nuevas formas de sintetizar materiales y/o modificar los ya existentes. En particular, y debido a sus características, la síntesis mecanoquímica es uno de los métodos para generar materiales que ha generado un gran interés en los últimos años. Este método se basa en el concepto de que la energía mecánica ejercida sobre un material produce transformaciones químicas y aporta cambios físicos al mismo. Las zeolitas están entre los materiales para los que se ha reportado que pueden ser sintetizados y modificados a través de procesos mecanoquímicos.

Las zeolitas son materiales funcionales con diversas aplicaciones [1], las cuales incluyen sensores, catalizadores, separadores de gases o intercambiadores iónicos [2], [3], [4]. Las zeolitas son materiales nanoestructurados cristalinos con poros de dimensiones nanométricas. Estas cavidades están interconectadas por canales, lo que confiere a cada tipo de zeolita una distribución específica de poros y canales. Así mismo, estos materiales tienen una composición química a base de Si, Na, Al y O. Con estos átomos se forma la estructura de cada zeolita particular. La generación de estos materiales puede darse en la naturaleza o de forma artificial en el laboratorio. En ambos casos, las zeolitas pueden ser tratadas a través de procesos mecanoquímicos para modificar sus propiedades y posibles aplicaciones.

Como afirman Rainer y Morris [5], los métodos mecanoquímicos permiten evitar el tiempo largo y la alta temperatura que se requiere para lograr reacciones con zeolitas, y al mismo tiempo, son evitadas condiciones particulares de síntesis, reactivos costosos y modificaciones post-sintéticas. Algunos casos de zeolitas heteroatómicas se han sintetizado mediante métodos mecánicos. Por ejemplo, las zeolitas de titanosilicato se han fabricado a partir de titania y sílice en bulto mediante una reacción mecanoquímica y un tratamiento hidrotermal [6]. La zeolita Sn- $\beta$  es un material que se utiliza para la isomerización de glucosa en fructosa. Este material se ha sintetizado a través de la molienda de reactivos. Dicho proceso se ha realizado después del uso de molienda manual y con un molino de bolas [7]. En esta última, se ha demostrado que el proceso es reproducible, flexible y escalable. Recientemente se ha estudiado que la modificación de zeolitas con hierro genera variaciones en sus propiedades eléctricas, ópticas y magnéticas [8].

En este trabajo se estudia el efecto que tiene la modificación de zeolita LTA con Cu cuando se utiliza un proceso mecanoquímico durante la síntesis. Como resultado se observan las variaciones en las características cristalinas, ópticas y morfológicas de los materiales resultantes en cada etapa del proceso.

## 2. Metodología Experimental

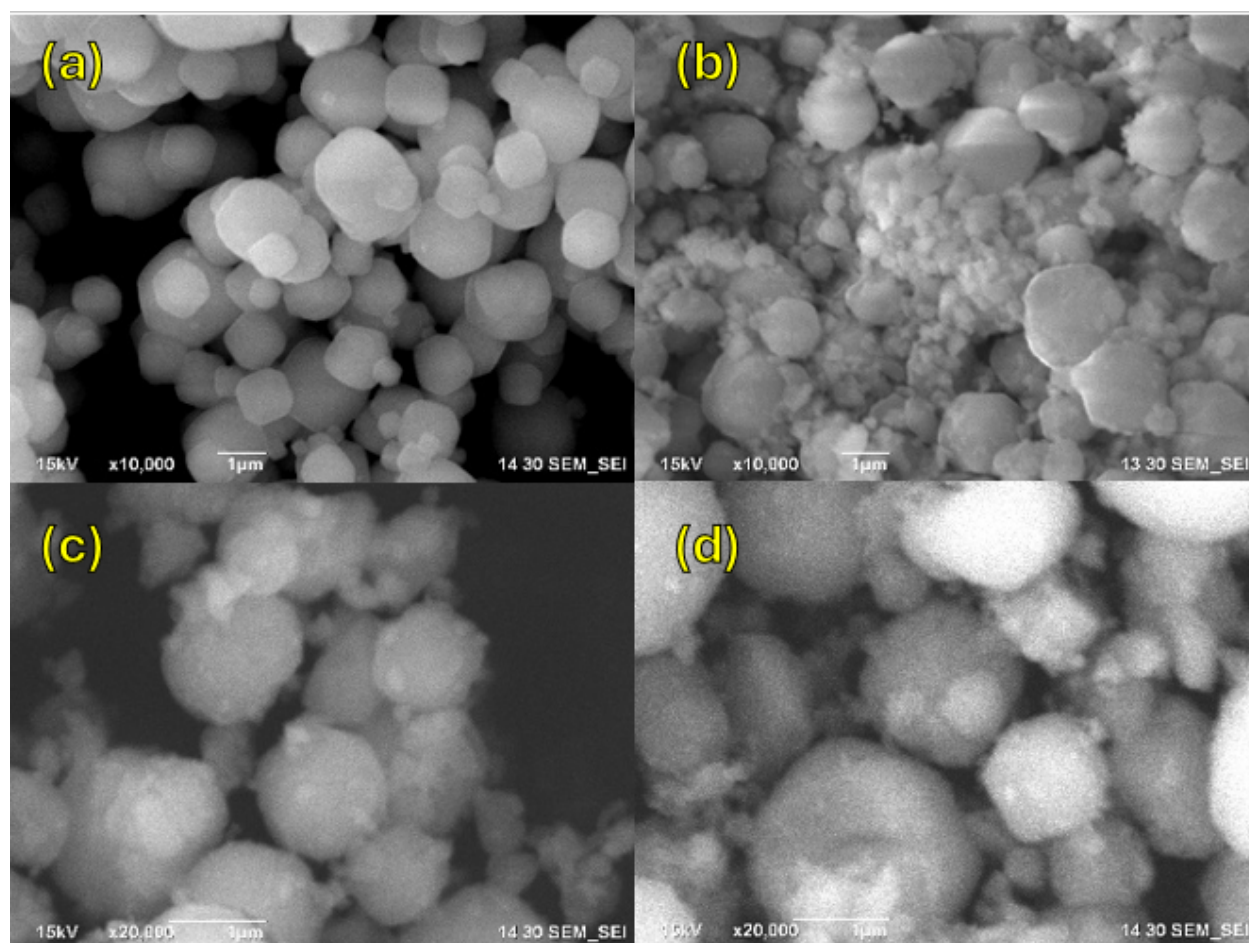
Se preparó zeolita A con una relación Si/Al=1 de acuerdo con la receta de la IZA [9]. La zeolita A se molió en un molino de bolas a 400 Hz durante 3 horas. Se combinó la zeolita A con sulfato cúprico ( $\text{CuSO}_4$ ) en una relación 2 a 1. La zeolita A con cobre (A-Cu) se molió en un molino de bolas planetario XQM-0.2S (Changsha City, China) a 400 Hz durante 3 horas. El material A-Cu se separó en dos porciones, una que no fue lavada (A-Cu-S) y otra que fue lavada en agua desionizada y filtrada (A-Cu-L).

Los materiales resultantes fueron caracterizados mediante difracción de rayos X (XRD) mediante el uso del equipo Aeris Panalytical (Malvern, Reino Unido) con radiación monocromática Cu K alfa ( $\lambda = 0.154056$

nm, 40 kV, 15 mA) y espectroscopía UV-Vis mediante el uso de un espectrofotómetro UV-Vis NIR Cary 5000 (Richmond CA, USA). Las micrografías de las muestras se obtuvieron mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) con el equipo JEOL JIB-4500 (Peabody, MA, USA). También se realizó un análisis de la composición elemental de las muestras utilizando el equipo de espectroscopia de energía dispersiva (EDS) integrado en el SEM.

### 3. Resultados y discusión

De acuerdo con la Fig. 1, para la zeolita LTA (a), se tiene que los cristales muestran la morfología característica asociada la zeolita A [10], [11], [12]. hay modificaciones evidentes después del proceso mecanoquímico. Algunos de ellos incluyen: una aparente amorfización de los cristales después del proceso de molienda (b), una diferencia en los niveles de aglomeración después de una mezcla con el precursor de Cu (c), y un aumento aparente en las partículas que se genera después del proceso de lavado (d).



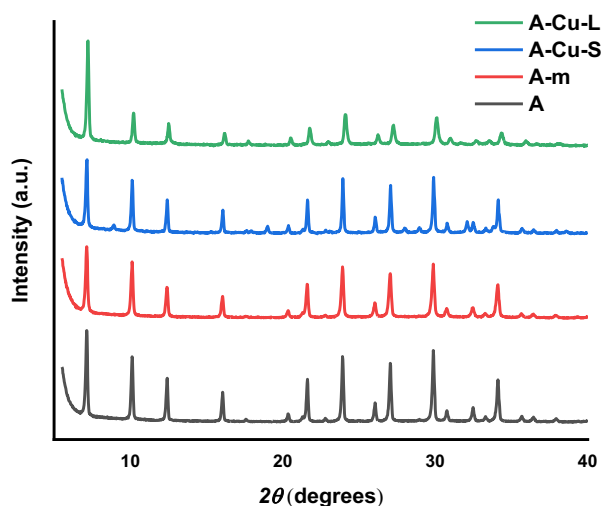
**Figura. 1.** Micrografías de zeolita A modificada con Cu: a) material puro después de síntesis (A), b) material puro después de proceso de molienda (A-m), c) zeolita A molida con  $\text{CuSO}_4$  sin lavar (A-Cu-S), d) zeolita A molida con  $\text{CuSO}_4$  después de ser lavada (A-Cu-L).

Por otra parte, al analizar la composición elemental se obtienen los datos mostrados en la Tabla 1. Se observa que la zeolita A pura tiene la relación Si/Al más cercana a 1, pero en todos los casos se mantienen aproximadamente la misma relación. Al comparar la composición de A y A-m, se observa que después del

proceso de molido hay un decremento en el sodio y un incremento en el silicio. Lo que se manifiesta en la variación que hay en la relación Si/Al entre A y A-m. Después de la modificación con cobre, se tiene una disminución en el Al y la aparición de Cu. Como resultado del lavado de los materiales se tiene que la cantidad de sodio disminuyó significativamente (A-Cu-L), mientras que el Al, Si y Cu se incrementaron respecto a A-Cu-S.

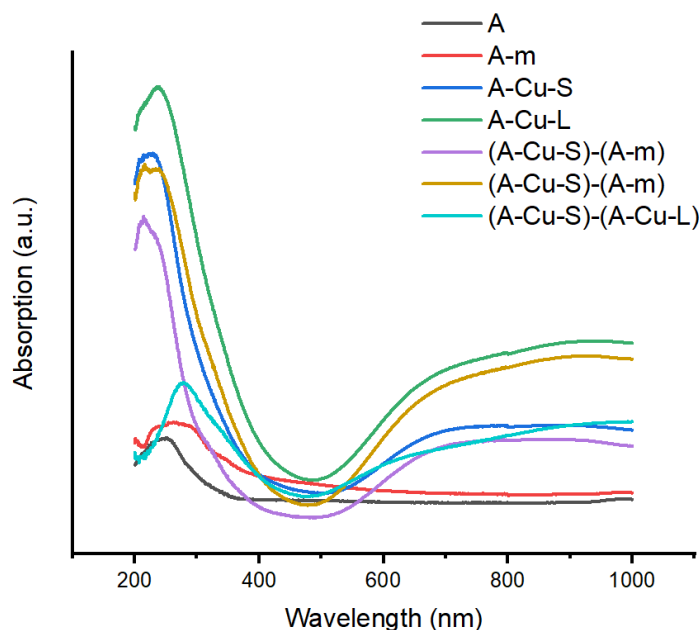
**Tabla 1.** Análisis de composición elemental

	Na (peso %)	Al (peso %)	Si (peso %)	Cu (peso %)	O (peso %)	Relación Si/Al
A	15.43	19.37	19.92		42.29	1.02
A-m	13.3	19.94	20.75		46.63	1.04
A-Cu-S	13.83	16.85	17.77	4.77	45.53	1.05
A-Cu-L	5.64	18.14	18.88	13.47	43.53	1.04



**Figura. 2.** Difractograma normalizado de muestras obtenidas durante modificación mecanoquímica de zeolita LTA





**Figura 3.** Espectro de absorción de las muestras obtenidas

Para la zeolita A, su difractograma característico es presentado en la Fig. 2 (curva negra). Después del proceso de molido (A-m) la estructura se mantiene casi inalterada, solo se observa en general una pequeña reducción en la intensidad absoluta de todos los picos. También se observa que la posición de todos los picos es casi igual, en particular después del proceso de molido (A-Cu-S), pero aparece un pico aproximadamente en  $2\theta = 8,18,28,33$  grados. Lo que indica la aparición de otras fases cristalinas, las cuales pueden ser silicatos mixtos de Al y Cu en muy baja concentración. Después del proceso de lavado, la mayoría de estos nuevos picos desaparecieron (A-Cu-L), lo cual podría indicar que fueron cristales formados durante el proceso de molido y que fueron removidos después del proceso de lavado [13].

Para la zeolita A, el máximo absoluto está alrededor de 250 nm (curva A en Fig. 3), y después del molido, el pico se aplanan y su centro se desplaza a la derecha, aproximadamente a 275 nm. Esto sugiere un cambio en la composición química de la zeolita A [14]. También después de un mínimo absoluto en 490 nm, hay un incremento de absorción que alcanza un máximo local en 700 nm (A-Cu-S) y en 900 nm (A-Cu-L). Estas mesetas a partir de los 600 para las muestras con Cu, hacen evidencia del plasmón de resonancia superficial de las partículas metálicas de Cu [15].

## 5. Conclusiones

A través de un proceso mecanoquímico, se puede modificar las propiedades de las zeolitas. Esto debido a que en los materiales obtenidos se observa una variación en la composición química resultado. Con lo que se encontró que las zeolitas al ser molidas en un molino de bolas tuvieron variaciones en su morfología. También es evidente que el proceso de lavado de los materiales genera variaciones en sus características cristalinas, así como en sus propiedades ópticas. Como trabajo futuro se pueden buscar aplicaciones para estos materiales, así como nuevas modificaciones en el proceso de síntesis.

## 6. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el proyecto DGAPA-PAPIIT-UNAM IG101623.

## 7. Referencias

- [1] F. N. Murrieta-Rico, J. Antúnez-García, R. I. Yocupicio-Gaxiola, D. H. Galván, J. C. González, y V. Petranovskii, «Zeolites as initial structures for the preparation of functional materials», *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 20, n.º 1, Art. n.º 1, mar. 2022, doi: 10.22201/icat.24486736e.2022.20.1.1561.
- [2] F. N. Murrieta-Rico et al., «QCM modified with FAU zeolite nanostructures for analysis of temperature induced adsorbed mass changes», *Measurement*, vol. 172, p. 108935, feb. 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2020.108935.
- [3] F. N. Murrieta-Rico et al., «Basic Aspects in the Application of QCMs as Sensors: A Tutorial», *IEEE Sens. J.*, vol. 22, n.º 11, pp. 10163-10172, jun. 2022, doi: 10.1109/JSEN.2022.3148039.
- [4] F. N. Murrieta-Rico, J. Antúnez-García, R. I. Yocupicio-Gaxiola, J. Zamora, A. R. Serrato, y V. Petranovskii, «One-Pot Synthesis of Iron-Modified Zeolite X and Characterization of the Obtained Materials», *Catalysts*, vol. 13, n.º 8, Art. n.º 8, ago. 2023, doi: 10.3390/catal13081159.
- [5] D. N. Rainer y R. E. Morris, «New avenues for mechanochemistry in zeolite science», *Dalton Trans.*, vol. 50, n.º 26, pp. 8995-9009, 2021, doi: 10.1039/D1DT01440D.
- [6] K. Yamamoto, S. E. Borjas García, y A. Muramatsu, «Zeolite synthesis using mechanochemical reaction», *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 101, n.º 1, pp. 90-96, abr. 2007, doi: 10.1016/j.micromeso.2006.09.034.
- [7] H. Joshi et al., «Insights into the mechanochemical synthesis of Sn-β: Solid-state metal incorporation in beta zeolite», *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 309, p. 110566, dic. 2020, doi: 10.1016/j.micromeso.2020.110566.
- [8] F. N. Murrieta-Rico et al., «Study of Electric and Magnetic Properties of Iron-Modified MFI Zeolite Prepared by a Mechanochemical Method», *Materials*, vol. 15, n.º 22, Art. n.º 22, ene. 2022, doi: 10.3390/ma15227968.
- [9] Ch. Baerlocher y L. B. McCusker, «Database of Zeolite Structures», may 2022, Accedido: 29 de mayo de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.iza-structure.org/databases/>
- [10] F. N. Murrieta-Rico, V. Petranovskii, J. Antúnez-García, R. I. Yocupicio-Gaxiola, M. Grishin, y S. Sarvadii, «Analysis of the effect of crystallization time during growth on the properties of zeolite LTA film on quartz substrates», *Mater. Today Proc.*, vol. 67, pp. 732-735, ene. 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.07.063.
- [11] F. N. Murrieta-Rico et al., «Frequency Response Analysis of FAU, LTA and MFI Zeolites Using UV-Vis and Electrochemical Impedance Spectroscopy», *Optics*, vol. 4, n.º 3, Art. n.º 3, sep. 2023, doi: 10.3390/opt4030033.
- [12] F. N. Murrieta-Rico, R. I. Yocupicio-Gaxiola, J. Antúnez-García, A. Reyes-Serrato, P. Sánchez, y V. Petranovskii, «Textile Functionalization Using LTA and FAU Zeolitic Materials», *Polymers*, vol. 15, n.º 1, Art. n.º 1, ene. 2023, doi: 10.3390/polym15010099.
- [13] J. R. Gröls y B. Castro-Dominguez, «Mechanochemical co-crystallization: Insights and predictions», *Comput. Chem. Eng.*, vol. 153, p. 107416, oct. 2021, doi: 10.1016/j.compchemeng.2021.107416.
- [14] A. A. Alswat, M. B. Ahmad, M. Z. Hussein, N. A. Ibrahim, y T. A. Saleh, «Copper oxide nanoparticles-loaded zeolite and its characteristics and antibacterial activities», *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 33, n.º 8, pp. 889-896, ago. 2017, doi: 10.1016/j.jmst.2017.03.015.

[15] K. M. Mayer y J. H. Hafner, «Localized Surface Plasmon Resonance Sensors», *Chem. Rev.*, vol. 111, n.º 6, pp. 3828-3857, jun. 2011, doi: 10.1021/cr100313v.