

EVALUACIÓN FITOTOXICOLÓGICA DE NANOZEOLITAS

Cabrera Fajardo Soledad del Rosario(1), Medina Ramírez Adriana(2), Fuentes Ramírez Rosalba(3)

1 [Licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | sdr.cabrerafajardo@ugto.mx

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | adriana.medina@ugto.mx

3 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | fuentes_ros@hotmail.com

Resumen

Las zeolitas son materiales altamente utilizados en diferentes áreas enfocadas en mejorar la vida. La agricultura no es la excepción. Actualmente, hace uso de zeolitas para mejorar su producción y calidad, pretendiendo satisfacer la demanda, no obstante, dicha demanda crece día con día. Ahí radica la importancia de innovar. La investigación consiste en hacer uso de nanomateriales (nanozeolitas LTA y EMC-2) intercambiados con micro/macronutrientes necesarios para el buen desarrollo de una planta. Los materiales zeolíticos fueron caracterizados mediante Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Se determinó el efecto de cada nanozeolita intercambiada en la germinación y crecimiento de diferentes semillas (chile, jitomate, lechuga, acelga). Los resultados mostraron que el efecto adverso de las nanopartículas fue significativo en el porcentaje de germinación, la tasa de germinación, la longitud de la raíz, disminución de la expansión foliar y del grosor de las raíces para las semillas de acelga y lechuga. Por otro lado, las semillas de chile y de jitomate se vieron positivamente favorecidas con el uso de las zeolitas incrementando incluso en 200% su crecimiento y en un 135% su germinación, por lo que las nanozeolitas podrían ser utilizadas como fertilizantes para estos cultivos.

Abstract

Zeolites are materials used in different areas focused on improving life. Agriculture is not the exception. At the moment, it makes use of zeolites to improve its production and quality, pretending to satisfy the demand, nevertheless, this demand grows day by day. That is the importance of innovation. The research consists of making use of nanomaterials (nanozeolites LTA and EMC-2) exchanged with micro / macronutrients necessary for the proper development of a plant. The zeolitic materials were characterized by X-ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The effect of each nanozeolite exchanged on the germination and growth of different seeds (chili, tomato, lettuce, Swiss chard,) was determined. The results showed that the adverse effect of the nanoparticles was significant in the percentage of germination, the germination rate, the length of the root, the decrease of the leaf and the thickness of the roots for lettuce and Swiss chard seeds. On the other hand, the seeds of chili and tomato were positively favored with the use of zeolites increasing even in 200% in their growth and in 135% of their germination, so that the nano-zeolities could be used as fertilizers for these crops

Palabras Clave

Nanozeolitas intercambiadas; agricultura; nutrientes.

INTRODUCCIÓN

Generalidades de las zeolitas y de los nutrientes

Las zeolitas son una clase de materiales microporosos cristalinos con poros bien definidos y cavidades de dimensiones moleculares [1], constituidos principalmente de átomos de Si y Al (llamados átomos T), cada uno de los cuales está unido de forma tetraédrica a los átomos de O. Debido a que este tipo de materiales son cristalinos, presentan distribuciones de tamaño de poro estrecha. Considerando este aspecto, las zeolitas presentan muchas aplicaciones donde el tamaño y la selectividad de forma son indispensables, tales como catálisis, intercambio iónico y adsorción [2]. A escala nanométrica (<500nm) los cristales desarrollan una gran área superficial externa donde se pueden localizar hasta el 30% de sus átomos de T. La disminución en el tamaño de los cristales de una zeolita conduce a un considerable incremento de su superficie externa y de las propiedades asociadas. Algunas propiedades excepcionales de las zeolitas a escala nanométrica son: mayor área superficial externa, estructuras jerárquicas, propiedades de superficie ajustables, una difusión más rápida y morfología de auto-ensamblaje [3]. Las zeolitas tienen muchas aplicaciones tanto en el mundo científico, de investigación y desarrollo, como en la vida diaria, algunos ejemplos son: materiales ópticos, pinturas, cosméticos, productos farmacéuticos, producción de papel, aplicación anti-microbial, detergentes, electrónica, absorbancia, industria alimenticia, cerámica y catálisis [3].

Nanozeolitas y agricultura

Otra área de aplicación de las zeolitas es la agricultura donde por su alta capacidad de intercambio iónico y su capacidad para absorber humedad, es perfecta para incrementar la eficiencia de los fertilizantes y reducir la lixiviación y volatilización de los nutrientes. En la agricultura se le conoce como el “Fertilizante Inteligente”, ya que libera lentamente los nutrientes y cuando las plantas lo requieren. Esto es porque las plantas se alimentan por medio del intercambio catiónico y la zeolita no libera los nutrientes a menos que haya un intercambio iónico. Los beneficios que se ven al usar zeolita en la agricultura se muestran en la Tabla 1. Actualmente la producción en invernaderos es cada vez más común, y los beneficios que brinda la zeolita son excelentes, a tal grado que existe un sistema de invernaderos a base de zeolitas llamado “Zeoponia”, desarrollado por la NASA [4].

Tabla 1: Beneficios de las zeolitas en la agricultura

Beneficio
Retiene los fertilizantes en la zona de enraizamiento
Previene la lixiviación y volatilización de los fertilizantes
Mejora la capacidad del suelo para retener nutrientes
Reduce costos de irrigación al retener humedad
Agiliza la germinación y crecimiento de las plantas
Se reutiliza las veces que sean necesarias
Menos problemas de acidez, al nivelar el pH del suelo

La mayoría de las plantas requieren un total de 16 nutrientes inorgánicos para un crecimiento normal. Estos nutrientes son elementos con funciones específicas y esenciales en el metabolismo de las plantas que se clasifican, según su concentración en la planta y conforme a sus requerimientos para el adecuado crecimiento y reproducción, en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son: carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, potasio, calcio, fósforo, magnesio y azufre. Los micronutrientes son: hierro, cloro, cobre, manganeso, zinc, molibdeno y boro [3,5].

Por lo anterior, en la presente investigación se estudia el efecto de la presencia de nanozeolitas EMC-2 y LTA (IMAGEN 1) sobre la tasa de germinación y crecimiento de diferentes semillas, tomando como base los conocidos beneficios de las zeolitas, pero potenciándolos haciendo uso de nutrientes específicos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de una planta.

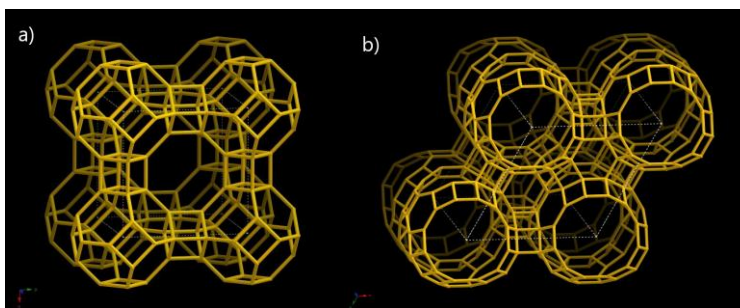


IMAGEN 1: Estructuras a) nanozeolita LTA, b) nanozeolita EMC-2.

MATERIALES Y MÉTODOS

Etapa 1: Preparación de nanozeolitas intercambiadas con macro/micronutrientes

Se prepararon soluciones de sales metálicas (CaCl_2 , MnCl_2 y $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$) con concentración 5mM para luego adicionar 100mg de cada una de las dos nanozeolitas, la solución se mantuvo en agitación suave por 5 horas. Posteriormente la solución resultante fue filtrada y lavada con agua desionizada. El sólido obtenido fue secado en una estufa a 80°C por 24 horas. Se obtuvieron un total de 6 nanozeolitas intercambiadas.

Etapa 2: Evaluación fitotóxica de las nanozeolitas

Suspensiones de las nanozeolitas intercambiadas fueron preparadas pesando 10mg de cada una y añadiéndolas, aforando a 100mL, se colocaron en el ultrasonido por 5 min para que se dispersaran de forma homogénea. Para continuar se esterilizaron las semillas a utilizar haciendo lavados con agua desionizada 3 veces, 1 vez con alcohol etílico y otra con agua desionizada. Las semillas evaluadas fueron Chile serrano (*Capsicum annuum* "Serrano"), Jitomate (*Solanum lycopersicum*), Lechuga (*Lactuca sativa*) y Acelga (*Beta vulgaris*). Finalmente, se colocó un papel filtro en una caja Petri y se pusieron 10 semillas (del mismo tipo) procurando dejar una separación de 1cm entre cada una, se adicionó un volumen de 5mL de la suspensión de la nanozeolita a evaluar y se llevaron a una incubadora a una temperatura de 35°C durante el tiempo establecido para la germinación de cada tipo de semilla. Concluido el tiempo, fueron sacadas, se contabilizó el número de semillas germinadas y se midió la longitud de cada raíz haciendo uso de un Vernier digital.

Etapa 3: Caracterización de nanozeolitas

Las zeolitas se analizaron mediante Difracción de rayos X (DRX) utilizando un difractómetro PANalytical modelo Epyrean con una fuente de radiación de Cu K a ($\lambda=1.5406\text{Å}$). La morfología se determinó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) con un equipo JEOL® modelo JSV-6610LV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las nanozeolitas exhiben cristales de tamaño nanométrico de morfología característica de cada zeolita. En el caso de la zeolita LTA presentó morfología cúbica mientras la zeolita EMC-2 exhibió cristales hexagonales (IMAGEN 2a, 2b). De acuerdo con los análisis de DRX de las nanozeolitas corresponden a fases cristalinas (IMAGEN 2c).

La Tabla 2 muestra los valores de la tasa de germinación (G) y de crecimiento (C), para cada semilla y cada nanozeolita intercambiada y se realizaron los gráficos (Ver IMAGEN 3a y 3b).

Entre las nanozeolitas la que registró mejores resultados al incrementar la tasa de germinación en casi 135% fue la EMC-2 intercambiada con el micronutriente Zn y aplicada a la semilla de Chile. Así mismo, LTA

incrementó la tasa a casi 120% en la misma semilla. Por lo anterior la semilla de chile es la que más se benefició con el uso del material zeolítico. En las semillas de lechuga y acelga la LTA-Ca inhibió completamente la tasa de germinación. La acelga es la menos afectada por la EMC-2. La lechuga fue la más sensible con ambas, en los tratamientos se redujo o presentó total inhibición en cuanto a su germinación.

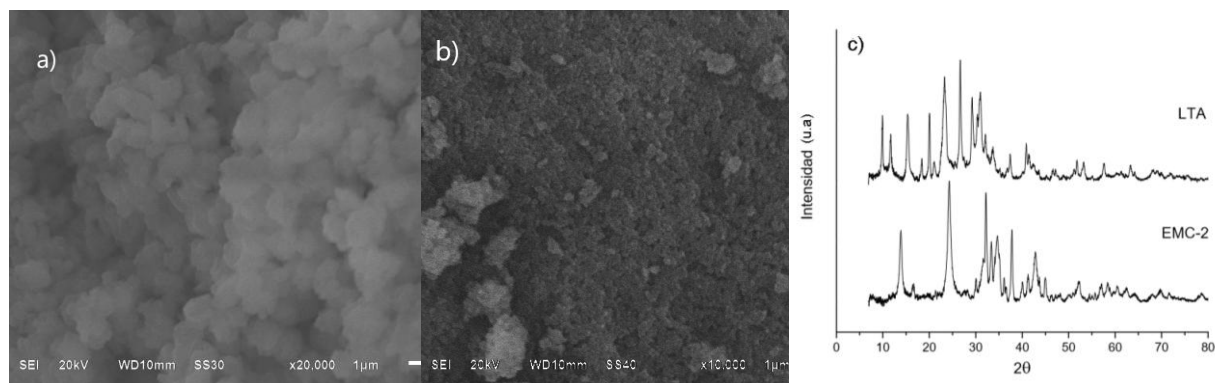


IMAGEN 2: Micrografías de a) LTA, b) EMC-2 y c) difractogramas de ambas nanozeolitas.

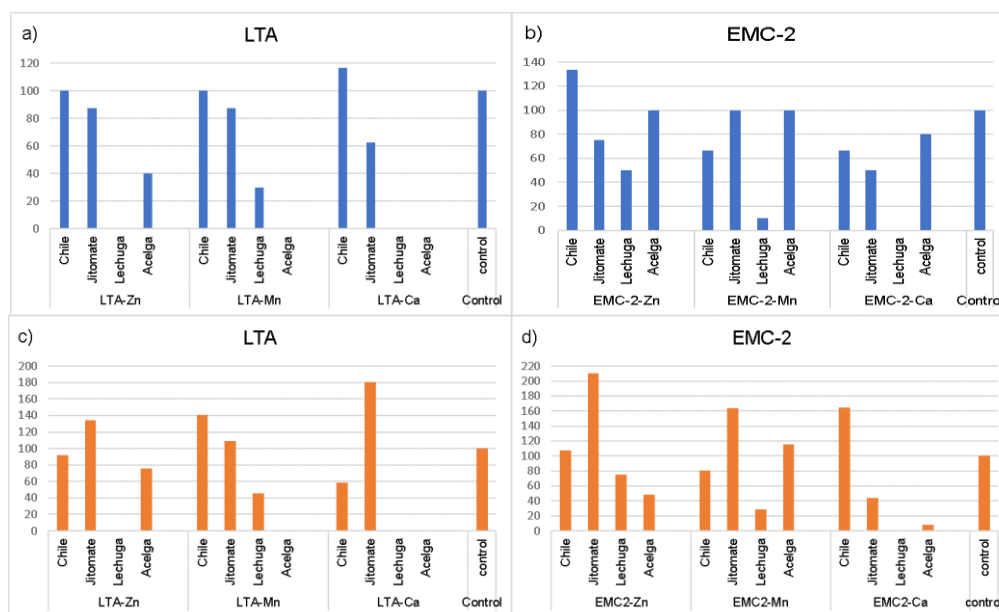


IMAGEN 3: Gráficos de: tasa de germinación de a) LTA y b) EMC-2, tasa de crecimiento de c) LTA y d) EMC-2.

Los resultados (IMAGEN 3c y 3d) arrojan que, para la tasa de crecimiento, la zeolita EMC-2 con Zn aplicada a la semilla de jitomate, incremento en más de 200% el crecimiento de la raíz. Para la misma semilla, la LTA con Ca, tuvo un efecto deseable incrementando el crecimiento 180%, además de aumentar el grosor de las raíces y la LTA mejoró la expansión foliar (tamaño de las hojas) y su color. Las semillas con menores tasas mostraron signos de toxicidad no solo al disminuir considerablemente su germinación y crecimiento, sino también teniendo disminución de la expansión foliar (hojas pequeñas) y del grosor de las raíces.

Para la nanozeolita LTA se tiene un porcentaje de inhibición promedio de 49.38% y favorecimiento de 1.39% para la tasa de germinación, en cuanto a la tasa de crecimiento el efecto positivo tiene un 13.76% y el negativo 8.18%. La EMC-2 mostró efectos adversos con un 33.47% y positivos con un 2.78% para la germinación. 21.88% fue el efecto positivo para la longitud de la raíz y el negativo de 26.34%.

La disminución e inhibición en la tasa de germinación de las semillas de acelga y lechuga pueden asociarse al límite de tolerancia que presentan respecto a la concentración del nutriente. Si se sobrepasa este umbral se hacen evidentes los efectos de toxicidad que generan alteraciones fisiológicas negativas sobre el crecimiento y reproducción de las plantas [6]. La favorable germinación y crecimiento de las semillas de jitomate en presencia de las zeolitas modificadas con Zn, coincide con lo reportado por Kosesakal [7], donde observaron que una concentración 1mM de $ZnCl_2$ es necesaria para las condiciones ideales de crecimiento de las plantas de tomate.

Tabla 2: Tasa de germinación y tasa de crecimiento.

Tratamiento	Chile		Jitomate		Lechuga		Acelga	
	G	C	G	C	G	C	G	C
1. Ca+LTA	116.67	58.82	62.5	180.89	0	0	0	0
2. Ca+EMC-2	66.67	164.89	50	43.56	0	0	80	7.66
3. Mn+LTA	100	140.98	87.5.5	108.66	30	45.86	0	0
4. Mn+EMC-2	66.67	80.18	100	164.21	10	28.90	100	115.82
5. Zn+LTA	100	91.85	87.5	134.62	0	0	40	75.782
6. Zn+EMC-2	133.33	106.98	75	210.60	50	75.57	100	48.10

CONCLUSIONES

El efecto de la presencia de nanozeolitas con micro y macronutrientes es influenciado por el tipo de nutriente, la estructura de la zeolita y la sensibilidad y tolerancia de la semilla evaluada. Las tasas de germinación y crecimiento de las semillas de lechuga y acelga fueron drásticamente afectadas por la presencia de las nanozeolitas intercambiadas, mientras que para las semillas de jitomate y chile el comportamiento fue favorable. De acuerdo con los resultados obtenidos se propone el uso de las 3 nanozeolitas resultantes al intercambiar con los micro/macronutriente para las semillas de jitomate con el fin de mejorar sus tasas de crecimiento. Así mismo, las nanozeolitas LTA-Ca y EMC-2-Zn, para incrementar la tasa de germinación para el chile. Ambas zeolitas podrían ser materia de análisis variando la concentración del material zeolítico y de los nutrientes de acuerdo con los niveles adecuados requeridos por las plantas.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Adriana Medina por su apoyo y asesoría. A la Dra. Rosalba Fuentes por facilitarme el acceso a su laboratorio. A la Ing. Lilia Karina Arellano Ariza por las muestras de nanozeolita utilizadas en este trabajo. A mis padres, Nicolasa Fajardo y Jesús Cabrera por apoyarme siempre.

REFERENCIAS

- [1] Zhu, J., Liu, Z. & Sukenaga, S. (2018). Ultrafast synthesis of *BEA zeolite without the aid of aging pretreatment. *Microporous and Mesoporous Materials*, volumen (268), 1.
- [2] Corona, O.L., Hernández, F. & Rojas, F. (2009). Propiedades de adsorción en zeolitas con anillos de 8 miembros. *Microporosidad y superficie externa*, volumen(14), 2.
- [3] Kirkby, E. & Römheld, V. (2007). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: funciones, absorción y movilidad. *Informaciones agronómicas*. International Plant Nutrition Institute. 1.
- [4] Crilarsa C. A. 11 de julio de 2018. Recuperado de www.crilarsa.com/zeolitas-en-la-agricultura-1.html
- [5] Mintova, S., Gilson, J. & Valtchev, V. (2013). Advances in nanosized zeolites. *Nanoscale*. 5, 6693.
- [6] Casierra, F., Poveda J. (2005). La toxicidad por exceso de Mn y Zn disminuye la producción de materia seca, los pigmentos foliares y la calidad del fruto en fresa (*Fragaria sp. cv. Camarosa*). *Agronomía Colombiana*, 23(2), pp. 283-289
- [7] Kosesakal T., Ünal MEffe. (2012). Effects of zinc toxicity on seed germination and plant growth in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Fresenius Environmental Bulletin*. 21(2). pp.315-32