



## Zeolita modifica el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cultivadas en sustrato

Daniela Pacheco<sup>1</sup>; Victor Manuel Ordaz-Chaparro<sup>2</sup>; Sara Monzerrat Ramírez-Olvera<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, km 38.5, carretera México-Texcoco, Chapingo Texcoco Edo. de México, C. P. 56230, México.

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Postgrado en Edafología, Campus Montecillo, km 36.5 Montecillo, C. P. 56264, Texcoco de Mora, México.

### Historial del artículo:

Recibido: 9 de abril, 2025.

Aceptado: 16 de octubre, 2025

### Publicado en línea:

18 de noviembre, 2025

### \*Autor de correspondencia:

ramirez.sara@colpos.mx

### Resumen

Las zeolitas son minerales de estructura cristalina y nanoporosa con alta capacidad de adsorción de agua y retención de nutrientes, los cuales pueden ser liberados de manera gradual al entorno radicular. Estas propiedades las posicionan como materiales con potencial para mejorar la disponibilidad nutrimental y la eficiencia productiva en cultivos agrícolas. El objetivo de la presente investigación fue analizar el efecto de la incorporación de zeolita al sustrato sobre el crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L. cv. Maximus). Las semillas se establecieron en charolas de espuma de polifenol y se regaron con solución nutritiva Universal Steiner al 25 y 50 %. A los 30 días después de la siembra, las plántulas se transfirieron a bolsas de polietileno de 3 L que contenían una mezcla de tezontle (partículas > 0.5 cm) y zeolita en proporciones de 0, 2, 4 y 6 % (v/v). La adición de zeolita al sustrato disminuyó la altura de planta y número de hojas en las dosis evaluadas, además, la concentración al 6 % redujo la longitud de la hoja más grande en relación con el tratamiento testigo. El suministro de zeolita al sustrato altera el crecimiento de plantas de lechuga.

► **Palabras clave:** Minerales, hortalizas, agricultura sostenible, rendimiento.

### Introducción

La agricultura, una actividad fundamental a nivel mundial, actualmente tiene dos grandes desafíos: el incremento de la productividad para satisfacer la creciente demanda del mercado, y la necesidad de implementar prácticas de manejo sostenibles y sustentables que permitan hacer uso más eficiente de los recursos; lo anterior debido al exponencial incremento de la población, y los efectos que fenómenos como el cambio climático, calentamiento global, y degradación de ecosistemas han causado (Sangeetha & Baskar, 2016).

Por ello, el empleo de insumos minerales de origen arcilloso ha cobrado relevancia como una estrategia para contrarrestar diversos factores que limitan la producción agrícola. En este

contexto, destaca el uso de la zeolita, reconocida como un material con alto potencial para mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas de cultivo (Lahori et al., 2020). Las zeolitas son minerales de estructura cristalina y nanoporosa que se caracterizan por tener alta capacidad de absorción de agua y nutrientes, los cuales pueden liberar de forma gradual (Zeinalipour & Saadati, 2024), haciendo más eficiente su uso en las plantas y contribuyendo así a la mejora del rendimiento, de las características del suelo y de la productividad agrícola (Hassan et al., 2024).

Actualmente, la zeolita se incorpora al suelo por su capacidad para mejorar las propiedades físicas y químicas de este, así como para favorecer el crecimiento vegetal. En diversos estudios se ha observado que la adición de este

mineral al suelo incrementa el contenido de nitrógeno (N), así como potasio (K) y calcio (Ca) intercambiables, evitando también la lixiviación de estos (Ahmed et al., 2010). Además, la aplicación de zeolita contribuye a reducir la absorción de metales pesados, como plomo (Pb), cadmio (Cd), cobre (Cu) y zinc (Zn), en plantas de repollo (*Brassica chinensis* L.), maíz (*Zea mays*) y arroz (*Oryza sativa*) cultivadas en suelos contaminados con dichos elementos (Lahori et al., 2020; Rahmany-Samani et al., 2023).

De forma similar, a la zeolita se le atribuye alta capacidad de absorción y retención de agua, lo que aumenta su disponibilidad en el suelo y mejora la absorción y eficiencia de uso de este recurso en las plantas, permitiendo obtener rendimientos mayores incluso en condiciones de sequía (Hazrati et al., 2017; Hassan et al., 2024; Zeinalipour & Saadati, 2024). Adicionalmente, se tienen investigaciones en las que se destaca que promueve una liberación más lenta de herbicidas (Tanaka et al., 2023), prolongando el efecto de estos en los cultivos.

En cuanto al uso de la zeolita como fertilizante, se ha demostrado que su incorporación al suelo favorece la absorción y eficiencia en el uso de N, fósforo (P) y K en diferentes especies cultivadas, entre ellas maíz (*Zea mays* L.), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), espinaca (*Spinacia oleracea* L.), lechuga (*Lactuca sativa* L.), canola (*Brassica napus* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.) y aloe (*Aloe vera* L.) (Ahmed et al., 2010; Bybordi & Ebrahimian, 2013; Li et al., 2013; Ozbahce et al., 2014; Cabrera-Fajardo et al., 2018; Hazrati et al., 2017; Hazrati et al., 2022; Hassan et al., 2024). Lo cual se traduce en el incremento del crecimiento y rendimiento de los cultivos, el cual se potencia cuando la zeolita se combina con fertilizantes inorgánicos nitrogenados y fosfatados, ya que actúa como un reservorio que libera gradualmente los nutrientes y mejora su eficiencia de uso por las plantas (Ahmed et al., 2010).

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza de alto valor comercial y nutricional, rica en vitamina A, vitamina K y betacarotenos (Kim et al., 2016). Los sistemas de producción sin suelo constituyen una alternativa sostenible que optimiza el uso del agua y responde a los desafíos actuales de disponibilidad hídrica (Maestre-Valero et al., 2018).

No obstante, son pocos los estudios que abordan el efecto de la zeolita cuando se incorpora a sustratos de cultivo, así como su influencia en el crecimiento de hortalizas de hoja. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la adición de zeolita al sustrato sobre el crecimiento de plantas de lechuga.

## Materiales y Métodos

### Material vegetal

Para la obtención de plántulas, se sembraron semillas liofilizadas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) en charolas de

espuma de polifenol con capacidad para 100 cavidades. Durante la primera semana, las plántulas se regaron únicamente con agua, y de la segunda a la cuarta semana se aplicó la solución nutritiva universal de Steiner (1984), con una composición de 12.0, 1.0, 7.0, 7.0, 9.0 y 4.0 meq·L<sup>-1</sup> de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), fosfato (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), potasio (K<sup>+</sup>), calcio (Ca<sup>2+</sup>) y magnesio (Mg<sup>2+</sup>), respectivamente, en concentraciones al 25 y 75 %. A los 30 días después de la siembra, se realizó el trasplante, para lo cual se seleccionaron las plantas que presentaban al menos tres hojas verdaderas y altura uniforme (Sharma et al., 2009).

### Sustrato, tratamientos y unidades experimentales

La zeolita se adquirió en la empresa Minerales Lozano. El trasplante se realizó en bolsas de polietileno de 3 L, en las que se colocó una mezcla de tezontle (con partículas mayores a 0.5 cm) y zeolita en dosis de 0, 2, 4 y 6 % (v/v), que corresponden a los tratamientos evaluados, cada uno de los cuales se conformó por cuatro repeticiones, con lo que se obtuvieron 24 unidades experimentales.

### Registro de variables

A los 14 días después del trasplante (ddt) se realizó la toma de datos de las variables respuesta: altura de la planta (cm), número de hojas, longitud y ancho de la hoja más grande (cm), diámetro del tallo (cm) y cobertura (%). La variable altura de la planta se midió con una cinta métrica, colocada desde la base del tallo hasta la punta de la hoja más larga. El número de hojas se contabilizó considerando únicamente aquellas hojas que estuvieran completamente extendidas.

La longitud y el ancho de la hoja más grande se determinaron al seleccionar la hoja con esta característica. Con una cinta métrica se registró la distancia desde la base hasta el ápice y el punto de mayor anchura. El diámetro del tallo se obtuvo con un vernier colocado en la parte media del mismo. La cobertura se estimó mediante la aplicación Canopy, la cual calcula el área del dosel vegetal a partir de fotografías cenitales tomadas bajo condiciones controladas de iluminación y distancia (Govindasamy et al., 2022).

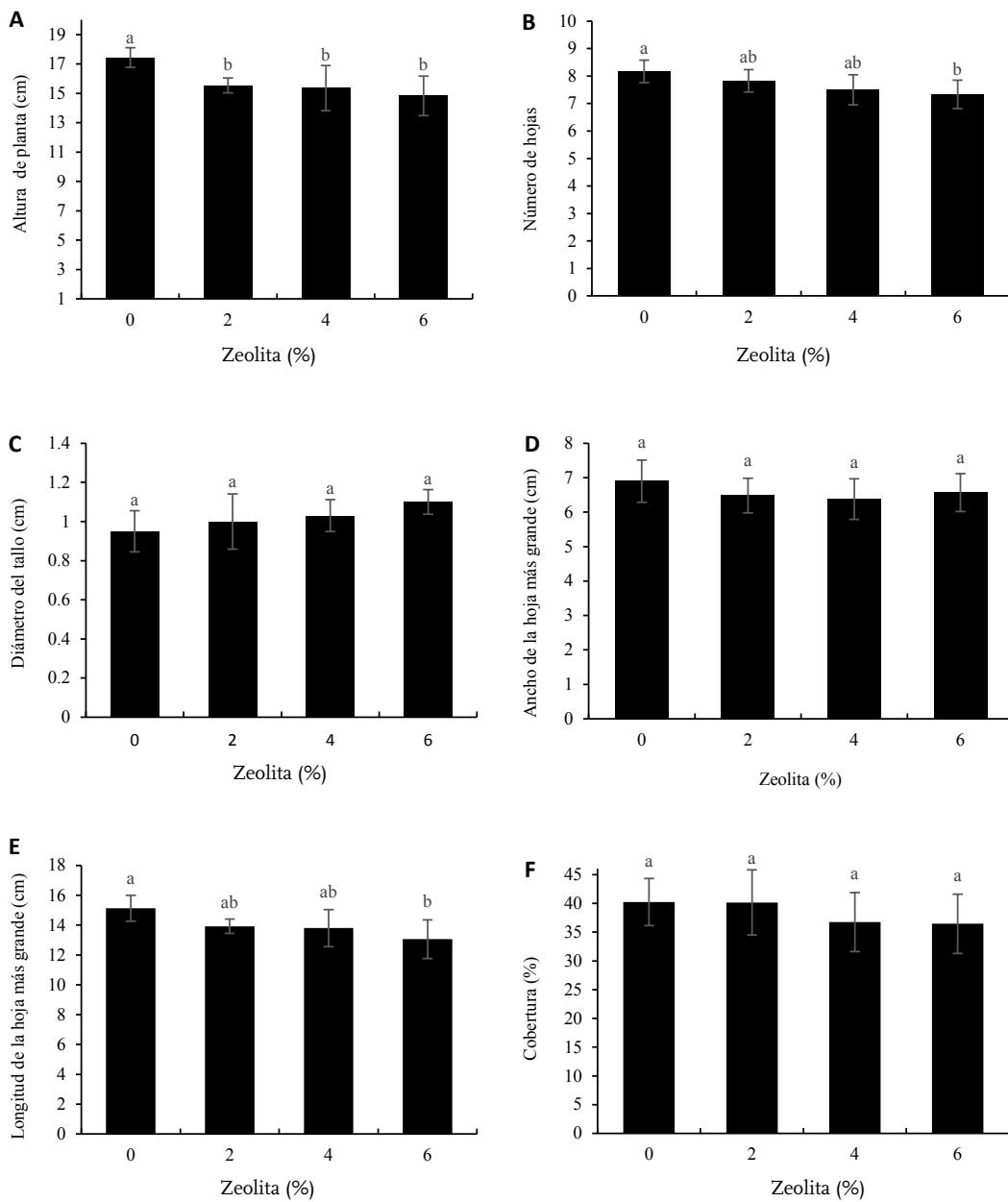
### Análisis de resultados

Los datos obtenidos en cada variable se procesaron en el programa estadístico R. Y se realizó un análisis de varianza conforme al diseño experimental completamente al azar, y la comparación de medias mediante la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

### Resultados y Discusión

La altura de las plantas disminuyó con las dosis de zeolita evaluadas (Figura 1A), mientras que el número de hojas (Figura 1B) y la longitud de la hoja más grande (Figura 1E) se redujeron significativamente con la aplicación de 6 %

**Figura 1. Altura de la planta (A), número de hojas (B), diámetro del tallo (C), ancho de la hoja más grande (D), longitud de la hoja más grande (E) y cobertura (F) de plantas de lechuga (*Lactuca sativa L.*), cultivadas en sustrato con 0, 2, 4 y 6 % de zeolita. Medias con letras diferentes indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey,  $P \leq 0.05$ )**



de zeolita, con relación al tratamiento testigo. En contraste, no se detectaron diferencias significativas en el diámetro del tallo, ancho de la hoja y cobertura (Figuras 1C, D, F). Estos resultados indican que la zeolita puede influir negativamente en variables relacionadas con la elongación y el desarrollo foliar durante las primeras etapas de crecimiento de lechuga.

Aunque diversos autores han reportado efectos positivos de la zeolita sobre el crecimiento y rendimiento de cultivos como maíz, trigo, aloe vera, cilantro (*Coriandrum sativum*) y fresa (*Fragaria × ananassa*) (Ahmed et al., 2010; Hassan et al., 2024; Hazrati et al., 2017; Mahmoud et al., 2023; Zeinalipour & Saadati, 2024), dichos beneficios suelen

manifestarse bajo condiciones de estrés abiótico o cuando la zeolita se aplica en combinación con fertilizantes de síntesis química. En la presente investigación, desarrollada bajo condiciones ambientales y nutrimentales óptimas, la adición de zeolita no promovió el crecimiento de lechuga, posiblemente debido a su alta capacidad de adsorción e intercambio catiónico, que puede retener temporalmente nutrientes y reducir su disponibilidad inmediata para la planta (Szatanik-Kloc et al., 2021).

Asimismo, se ha reportado que la zeolita puede retener hasta el 50 % de su volumen en agua, pero parte de esta se almacena en poros, y no puede ser aprovechada por las raíces, limitando la disponibilidad hídrica efectiva

(Szatanik-Kloc et al., 2021). Resultados similares fueron descritos por Smedt et al. (2017) y Cabrera-Fajardo et al. (2018), quienes reportaron ausencia de efectos o disminuciones en el crecimiento de hortalizas cultivadas en sustratos con zeolita. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el impacto de la zeolita depende de la especie, las condiciones ambientales y el tipo de aplicación, con efectos más favorables en condiciones de estrés, o en etapas avanzadas del desarrollo vegetal.

## Conclusiones

La incorporación de zeolita al sustrato no favoreció el crecimiento de lechuga cv. Maximus, etapas iniciales de crecimiento. En contraparte, su aplicación redujo la altura de las plantas, el número y la longitud de hojas, sin alterar significativamente el diámetro de tallo y ancho de la hoja.

## Referencias

- Ahmed, O. H., Sumalatha, G., & Muhamad, A. N. (2010). Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(15), 2393-2401.
- Bybordi, A., & Ebrahimian, E. (2013). Growth, yield and quality components of canola fertilized with urea and zeolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(19), 2896-2915. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.823986>
- Cabrera-Fajardo, S. R., Medina-Ramírez, A., & Fuentes-Ramírez, R. (2018). Evaluación fitotoxicológica de nanozeolitas. *Jóvenes en la Ciencia*, 4(1), 1223-1228.
- Govindasamy, P., Mahawer, S. K., Sarangi, D., Halli, H. M., Das, T. K., Raj, R., Saini, R. K., Choudhary, R. K., Verma, A. K., Kumar, R., Soni, P. G., Goyal, R. K., Choudhary, M., Kumar, P., & Chandra, A. (2022). The comparison of Canopeo and SamplePoint for measurement of green canopy cover for forage crops in India. *MethodsX*, 9, 101916. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101916>
- Hassan, M. U., Shah, S. T., Basit, A., Hikal, W. M., Khan, M. A., Khan, W., Tkachenko, K. G., Brini, F., & Said-Al Ahl, H. A. H. (2024). Improving wheat yield with zeolite and tillage practices under rain-fed conditions. *Land*, 13(8), 1248. <https://doi.org/10.3390/land13081248>
- Hazrati, S., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Mokhtassi-Bidgoli, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mohammadi, H., & Nicola, S. (2017). Effects of zeolite and water stress on growth, yield and chemical compositions of *Aloe vera* L. *Agricultural Water Management*, 181, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.026>
- Hazrati, S., Khurizadeh, S., & Sadeghi, A. R. (2022). Application of zeolite improves water and nitrogen use efficiency while increasing essential oil yield and quality of *Salvia officinalis* under water-deficit stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(3), 1707-1716. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.059>
- Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- Lahori, A. H., Mierzwa-Hersztek, M., Demiraj, E., Sajjad, R. U., Ali, I., Shehnaz, H., Aziz, A., Zuberi, M. H., Pirzada, A. M., Hassan, K., & Zhang, Z. (2020). Direct and residual impacts of zeolite on the remediation of harmful elements in multiple contaminated soils using cabbage in rotation with corn. *Chemosphere*, 250, 126317. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126317>
- Li, Z., Zhang, Y., & Li, Y. (2013). Zeolite as slow release fertilizer on spinach yields and quality in a greenhouse test. *Journal of Plant Nutrition*, 36(10), 1496-1505. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.790429>
- Maestre-Valero, J. F., Martin-Gorriz, B., Soto-García, M., Martinez-Mate, M. A., & Martinez-Alvarez, V. (2018). Producing lettuce in soil-based or in soilless outdoor systems: Which is more economically profitable? *Agricultural Water Management*, 206, 48-55. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.030>
- Mahmoud, A. W. M., Rashad, H. M., Esmail, S. E. A., Alsamadany, H., & Abdeldaym, E. A. (2024). A tool to enhance drought tolerance in coriander plants for improving growth and productivity. *Plants*, 13(3), 455. <https://doi.org/10.3390/plants13030455>
- Ozbahce, A., Tari, A. F., Gönülal, E., Simsekli, N., & Padem, H. (2014). The effect of zeolite applications on yield components and nutrient uptake of common bean under water stress. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61(5), 615-626. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.946021>
- Rahmany-Samani, A., Ghobadinia, M., Sayyed-Hassan, T., Nourmahnad, N., & Danesh-Shahraki, A. (2023). The effect of irrigation and zeolite management on the reduction of cadmium accumulation in rice. *Agricultural Water Management*, 287, 108448. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108448>
- Sangeetha, C., & Baskar, P. (2016). Zeolite and its potential uses in agriculture: A critical review. *Agricultural Reviews*, 37(2), 101-108. <https://doi.org/10.18805/arv0iof.9627>
- Sharma, P. C. D., Rahman, M. M., Mollah, M. A. H., & Islam, M. S. (2009). Influence of method and date of planting on the production of lettuce. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 34(1), 75-80. <https://doi.org/10.3329/bjar.v34i1.5747>
- Smedt, C. D., Steppe, K., & Spanoghe, P. (2017). Beneficial effects of zeolites on plant photosynthesis. *Advanced Material Science*, 2(1), 1-6. <https://doi.org/10.15761/AMS.1000115>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. In *Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Wageningen, The Netherlands.
- Szatanik-Kloc, A., Szerement, J., Adamczuk, A., & Józefaciuk, G. (2021). Effect of low zeolite doses on plants and soil physicochemical properties. *Materials*, 14(10), 2617. <https://doi.org/10.3390/ma14102617>
- Tanaka, F. C., Yonezawa, U. G., de Moura, M. R., & Aouada, G. A. (2023). Obtention, characterization, and herbicide diquat carrier/release properties by nanocomposite hydrogels based on polysaccharides and zeolite for future use in agriculture. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 20, 100880. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100880>
- Zeinalipour, N., & Saadati, S. (2024). Physiological and biochemical response of strawberry cv. Diamond to Nano zeolite soil application and cinnamic acid foliar application. *Scientific Reports*, 14(1), 28908. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76419-5>