

BIOESTIMULACIÓN CON NEODIMIO EN LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS Y EL CRECIMIENTO INICIAL DE PLÁNTULAS DE LECHUGA CV. RHODENAS

¹Imelda Rueda-López, arueda.3001@gmail.com

²Libia Iris Trejo-Téllez, tlibia@colpos.mx

³Fernando Carlos Gómez-Merino, fernandg@colpos.mx

RESUMEN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas de hoja más producidas a nivel mundial. Se le cultiva de manera intensiva a cielo abierto, en invernadero o en sistemas hidropónicos. El cambio climático afecta negativamente la producción de esta hortaliza, lo que hace necesaria la búsqueda de alternativas que mejoren su cultivo. El neodimio (Nd) es un metal que pertenece al grupo de los lantánidos y a los elementos de las tierras raras; su aplicación en especies cultivadas puede mejorar indicadores de crecimiento y producción. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la aplicación 0, 20, 40 y 60 μM Nd en la germinación de semillas y el crecimiento inicial de plántulas de lechuga cv. Rhodenas. Semillas de lechuga se colocaron en contenedores de plástico, y se trataron con 15 mL de cada solución con Nd, se sometieron a oscuridad por 48 h y posteriormente, 7 d en luz. Después se registró el porcentaje de germinación, altura de planta, longitud de hoja y longitud de raíz. El porcentaje de germinación no se vio influenciado por la adición de los tratamientos con Nd. El tratamiento 40 μM Nd aumentó la altura de planta, así como las longitudes de hoja y de raíz. El Nd tiene un efecto bioestimulante en etapas iniciales de crecimiento en lechuga cv. Rhodenas.

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most important vegetables grown worldwide. It is produced intensively in crop fields, in greenhouses or in hydroponic systems. Climate change negatively affects the production of this crop. Therefore, it is necessary to search for alternatives that improve their production. Neodymium is a metal that belongs to the group of lanthanides and to the rare earths elements; its application to plants has improved growth and production in various species. The objective of this research was to evaluate the effect of the application of 0, 20, 40 and 60 μM Nd on germination and initial stages in lettuce cv. Rhodenas. Lettuce seeds were placed in plastic containers, and treated with 15 mL of each treatment, they were subjected to darkness for 48 h and 7 d in light. Then the percentage of germination, plant height, leaf length and root length were recorded. The germination percentage was not influenced by the addition of Nd treatments. The 40 μM Nd treatment increased plant height, leaf length, and root length. Nd has a biostimulant effect in the initial stages of growth in lettuce cv. Rhodenas.

PALABRAS CLAVE

Elementos benéficos
Lantánidos
Hormesis
Lactuca sativa

KEYWORDS

Beneficial elements
Lanthanides
Hormesis
Lactuca sativa

¹Colegio de Postgraduados Campus Montecillo/Estudiante

²Colegio de Postgraduados Campus Montecillo/Docente

³Colegio de Postgraduados Campus Córdoba/Docente

I. INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) se produce de manera intensiva y se considera una de las plantas más importantes del grupo de hortalizas de hoja, debido a su fácil empleo en la alimentación humana, su sabor y características nutricionales que contribuyen a incrementar la nutrición en las personas (Santos-Filho et al., 2009). Su mayor uso es para consumo alimenticio, aunque también tiene otros, como medicinales, fabricación de cremas o extracción de látex (Kim et al., 2016). Este cultivo tiene la ventaja agronómica de presentar un ciclo vegetativo corto, lo que permite su producción durante todo el año (Saavedra et al., 2017). En Latinoamérica, los mayores productores de esta hortaliza son México y Chile con 370,066 y 101,559 toneladas, respectivamente. En 2020, las exportaciones e importaciones de Latinoamérica estuvieron lideradas por México con una producción de 106,670 toneladas y 26,769 toneladas respectivamente. La producción en México se ha duplicado en la última década, ya que, de acuerdo con datos del SIAP (2020), a nivel nacional se reporta una producción de 485,041 toneladas de lechuga en una superficie de 20,783 hectáreas. Lo anterior muestra a nuestro país como un importante productor y exportador de esta hortaliza (FAO, 2020). La lechuga es un cultivo importante para los agricultores que cuentan con suelos poco fértiles. Además, el cambio climático global afecta negativamente la producción de alimentos a través de diversos factores de estrés, lo que hace indispensable estimular la tolerancia y resistencia de las especies vegetales para mitigar tales efectos negativos. Los bioestimulantes promueven el crecimiento y propician una mayor eficiencia en la absorción y utilización de nutrimentos, lo cual incide en la calidad del cultivo; además de incrementar tolerancia a factores de estrés abiótico.

El neodimio (Nd) forma parte de los elementos de las tierras raras (ETR), este grupo comparte características físicas y químicas similares y muchos de los elementos de este grupo están clasificado como bioestimulantes inorgánicos (Ramos et al., 2016). Los más estudiados en agricultura son lantano (La), itrio (Y) y cerio (Ce), en especies como arroz, trigo, soya, cebada, maíz, frijol, tomate, pepino, pimiento morrón, espinaca, cilantro y tulipán.

Los efectos de los ETR en la nutrición vegetal son variados, pueden promover la germinación de semillas y el desarrollo de raíces, aumentar la biomasa vegetal y la producción de metabolitos secundarios cuando se suministran en concentraciones adecuadas (Zhang et al., 2013).

Las investigaciones realizadas con neodimio son limitadas. Estudios demuestran que, promueve las actividades de superóxido dismutasa (SOD), peroxidasa (POD) y catalasa (CAT) e incrementó la capacidad de las células para eliminar los radicales libres de oxígeno y controlar la oxidación excesiva de lípidos de membranas (Wei et al., 2000). También estimula la tasa de germinación y el contenido de clorofila a y b (Zhang et al., 2013).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue promover la germinación y el crecimiento inicial de plántulas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Rhodenas mediante bioestimulación con neodimio.

II. METODOLOGÍA

Condiciones del experimento

El experimento se llevó a cabo en condiciones de laboratorio a principios de julio de 2022, en las instalaciones del Laboratorio de Nutrición Vegetal “Salvador Alcalde Blanco” ubicado en el edificio de Edafología e Hidrociencias perteneciente al Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, localizado a 2250 m de altitud, 19° 30' 45" latitud norte y 98° 52' 47" longitud oeste.

Material vegetal y aplicación de tratamientos

Se preparó una solución stock 100 μM $\text{NdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich, USA). Primero se pesaron 0.018 g de $\text{NdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en una balanza analítica (AV213C, Adventurer Pro, USA), se disolvió totalmente con agua destilada, se traspasó a un matraz volumétrico y se aforó a 500 mL. En cuatro matraces se vertieron 0, 50, 100 y 150 mL de la solución stock y se aforaron a 250 mL con agua destilada. En un contenedor de plástico transparente con dimensiones de 12 x 11 x 11 cm se colocó papel filtro, con ayuda de una micropipeta se adicionaron 15 mL de la solución correspondiente a cada tratamiento y se colocaron 10 semillas de lechuga cv. Rhodenas distribuidas homogéneamente. Los contenedores permanecieron en una mesa de laboratorio en condiciones de oscuridad por 48 h. Posteriormente, se mantuvieron a luz natural durante 7 d.

Diseño experimental y diseño de tratamientos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Se evaluaron cuatro concentraciones de Nd 0, 20, 40 y 60 μM , a partir de la fuente $\text{NdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Sigma-Aldrich, USA). Cada unidad experimental fue un contenedor de plástico transparente, con 10 semillas y la solución de $\text{NdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ correspondiente a cada tratamiento. El testigo consistió en utilizar agua destilada (0 μM Nd).

Germinación

A las 48 h después de siembra, se registró la germinación en cada tratamiento, considerando como germinadas aquellas semillas con radícula mayor a 2 mm. El porcentaje de germinación se calculó con la fórmula propuesta por Tam y Tiquia (1994).

Variables de crecimiento inicial

Diez días después de haber iniciado el experimento se tomaron fotografías de cinco plántulas por contenedor, se incluyó una escala de longitud y se evaluaron en el programa ImageJ (<https://imagej.nih.gov/ij/download.html>), los resultados se expresaron en cm. Schenider et al. (2012) proporcionan más información acerca del uso del software de libre acceso ImageJ en análisis de imágenes.

Análisis de datos

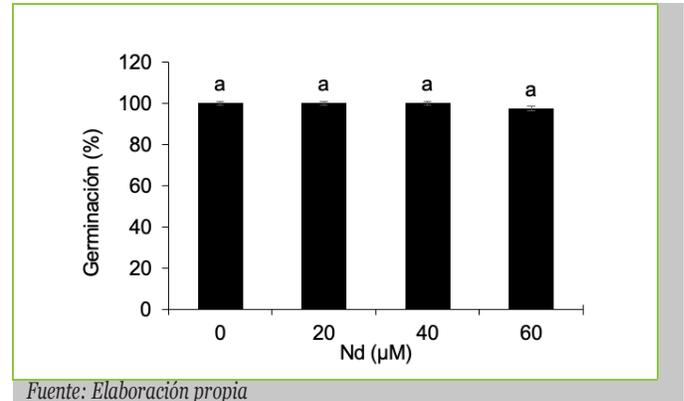
Los datos se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey (Tukey, $P \leq 0.05$), para lo cual se utilizó el software estadístico Statistical Analysis System (SAS Institute, 2009) versión 9.3.

III. RESULTADOS

Existen diversos estudios sobre los efectos positivos de ETR en la germinación de semillas, principalmente porque estos elementos actúan de manera sinérgica con fitohormonas que estimulan la germinación (Ramos et al., 2016). El tratamiento de semillas de *Cassia obtusifolia*, con 1 mg Nd_3^+ L⁻¹ promovió significativamente la germinación (Yao et al., 2008). Contrario a lo anterior, en esta investigación la aplicación de 20, 40 y 60 μM Nd no tuvo influencia en el porcentaje de germinación (Figura 1). Estos resultados coinciden con los reportados por Andersen et al. (2016), quienes no encontraron efectos significativos en la germinación de semillas de lechuga después de ser tratadas con nanopartículas de $\text{Ce}(\text{nCeO}_2)$ a concentraciones que oscilaron entre 250 y 1000 mg L⁻¹.

Figura 1

Porcentaje de germinación de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Rhodenas, tratadas con 0, 20, 40 y 60 μM Nd.



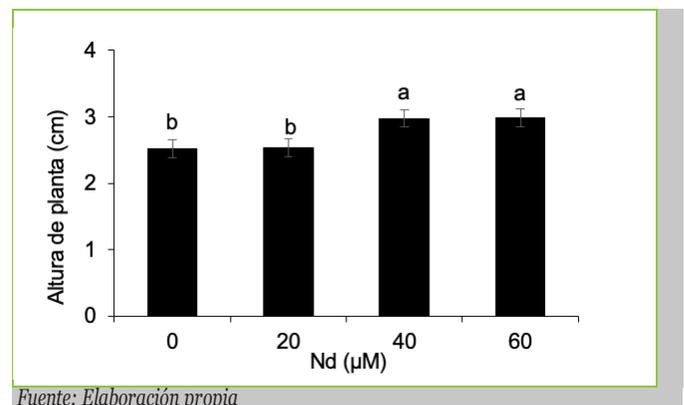
Medias \pm EE con letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

La altura de plántula de lechuga cv. Rhodenas aumentó 18.1 y 18.5% con la aplicación de 40 y 60 μM Nd, respectivamente, en comparación con el testigo (Figura 2). Las plantas tratadas con 20 μM Nd no presentaron diferencias significativas respecto al testigo. Los ETR en etapas iniciales influyen positivamente en el crecimiento de las plantas.

En plantas de arroz, la adición de 4, 8 y 12 μM Ce incrementó significativamente la altura de planta en más del 100% (Ramírez-Olvera et al., 2018). Por su parte Diatloff et al. (2008), concluyen que el La tiene efecto benéfico en el crecimiento de plantas, particularmente cuando es suministrado a bajas concentraciones.

Figura 2

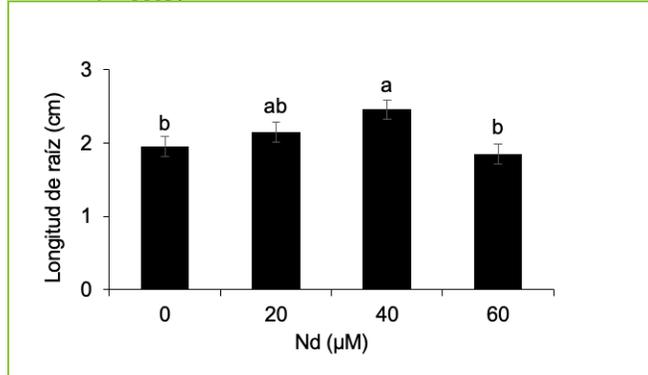
Altura de planta de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Rhodenas tratadas con 0, 20, 40 y 60 μM Nd



Medias \pm EE con letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

La longitud de raíz aumentó 25.6% con la aplicación de 40 μM Nd, con respecto al testigo. De manera contraria, esta variable fue afectada con la aplicación de 60 μM Nd (Figura 3). Un estudio realizado en plántulas de palma de coco (*Cocos nucifera*) demostró que el cultivo mixto con *Calotropis gigantea* y la aplicación de 1 g de ETR que incluía $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ incrementó el crecimiento de la raíz (Wahid et al., 2000). Resultados similares fueron reportados por Jianping et al. (2008) quienes estudiaron los efectos del $\text{Nd}(\text{NO}_3)_3$ en el enraizamiento adventicio de esquejes en brotes de *Dendrobium densiflorum*. La adición de 5 μM Nd al medio de cultivo incrementó significativamente la frecuencia de enraizamiento, así como la longitud de raíz. Además, se encontraron niveles altos de ácido indol-3-acético (AIA), lo que sugiere que, la frecuencia de enraizamiento mejorada y el crecimiento de raíz pueden estar relacionados con este incremento ya que el AIA participa en el alargamiento y la elongación celular de la raíz.

Figura 3
Longitud de raíz de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Rhodenas, tratadas con 0,

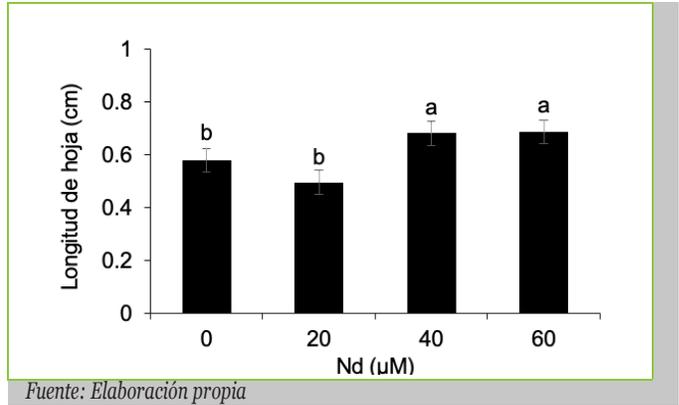


Fuente: Elaboración propia

Medias \pm EE con letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

La aplicación de 20 μM Nd provocó una disminución en la longitud de hoja respecto al testigo. Por su parte, el largo de hoja aumentó 16.6 y 18.54% con la adición de 40 y 60 μM Nd respectivamente, en comparación con el testigo (Figura 4). La hoja es uno de los órganos de mayor importancia en las plantas vasculares, debido a que es el órgano especializado en realizar la fotosíntesis. En plantas de tulipán la adición de 5 μM de Ce aumentó significativamente la longitud de hoja (Gómez-Navor et al., 2021).

Figura 4
Longitud de hoja de lechuga (*Lactuca sativa* L.) cv. Rhodenas, tratada con 0, 20, 40 y 60 μM Nd



Fuente: Elaboración propia

Medias \pm EE con letras distintas indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$).

IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que el Nd tiene un efecto bioestimulante en el crecimiento inicial de plantas de lechuga cv. Rhodenas, al incrementar la altura de planta y las longitudes de hoja y de raíz. Mientras que, no se observaron efectos en la germinación de semillas.

Cabe señalar que los efectos positivos, negativos o nulos que produce el Nd pueden estar relacionados con la dosis, el cultivar y las condiciones de aplicación de los tratamientos. Los efectos fisiológicos de Nd deben ser investigados con mayor detalle para que su aplicación en la agricultura sea viable. Es necesario futuros estudios para identificar sus mecanismos moleculares implicados en el crecimiento de las plantas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andersen, C. P., King, G., Plocher, M., Storm, M., Pokhrel, L. R., Johnson, M. G., & Rygiewicz, P. T. (2016). Germination and early plant development of ten plant species exposed to titanium dioxide and cerium oxide nanoparticles. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(9), 2223-2229. <https://doi.org/10.1002/etc.3374>
- Diatloff, E., Smith, F. W., & Asher, C. J. (2008). Effects of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean. *Annals of Botany*, 101(7), 971-982. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn021>
- FAO. (2020). Lechuga y achicoria. Recuperado el 05 de junio de 2022 de <https://www.fao.org/faostat/es/#search/produccion%20de%20lechuga>.
- Gómez-Navor, T., Gómez-Merino, F. C., Alcántar-González, G., Fernández-Pavía, Y. L., & Trejo-Téllez, L. I. (2021). Cerium (Ce) affects the phenological cycle and the quality of tulip (*Tulipa gesneriana* L.). *AgroProductividad*, 14(4), 59-63. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.315846>
- Jianping, L. U. O., Zhang, J., & Ying, W. A. N. G. (2008). Changes in endogenous hormone levels and redox status during enhanced adventitious rooting by rare earth element neodymium of *Dendrobium densiflorum* shoot cuttings. *Journal of Rare Earths*, 26(6), 869-874. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(09\)60023-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(09)60023-5)
- 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>
- Ramírez-Olvera, S. M., Trejo-Téllez, L. I., García-Morales, S., Pérez-Sato, J. A., & Gómez-Merino, F. C. (2018). Cerium enhances germination and shoot growth, and alters mineral nutrient concentration in rice. *PLoS One*, 13(3), e0194691. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194691>
- Ramos, S. J., Dinali, G. S., Oliveira, C., Martins, G. C., Moreira, C. G., Siqueira, J. O., & Guilherme, L. R. (2016). Rare earth elements in the soil environment. *Current Pollution Reports*, 2(1), 28-50. <https://doi.org/10.1007/s40726-016-0026-4>
- Saavedra, G., Corradini, F., & Antúnez, A. (2017). Manual de producción de lechuga. INIA. Santiago, Chile. 26 p. Recuperado el 05 de junio de 2022 de <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6703>
- Santos-Filho, B. G., Lobato, A. K. S., Silva, R. B., Schimidt, D., Costa, R. C. L., Alves, G. A. R., & Neto, C. O. (2009). Growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in protected cultivation and open field. *Journal of Applied Sciences Research*, 5(5), 529-533. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1205.108>
- SAS Institute Inc. (2009). SAS/STAT Software: Changes and Enhancements, Release 6.10, Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Schneider, C., Rasband, W., & Eliceiri, K. (2012). NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9 (7), 671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>
- SIAP. (2020). Al alza, producción y exportación de lechuga mexicana. Recuperado el 05 de junio de 2022 de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/al-alza-produccion-y-exportacion-de-lechuga-mexicana?idiom=es>.
- Tam, N. F. Y., & Tiquia, S. (1994). Assessing toxicity of spent pig litter using a seed germination technique. *Resources, Conservation and Recycling*, 11(1-4), 261-274. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(94\)90094-9](https://doi.org/10.1016/0921-3449(94)90094-9)
- Wei, Y. Z., & Zhou, X. B. (2000). Effect of neodymium on physiological activities in oilseed rape during calcium starvation. *Journal of Rare Earths* 18(1), 59-61. <http://www.cqvip.com/qk/84120x/200001/4000668619.html>.
- Wahid, P. A., Valiathan, M. S., Kamalam, N. V., Eapen, J. T., Vijayalakshmi, S., Prabhu, R. K., & Mahalingam, T. R. (2000). Effect of rare earth elements on growth and nutrition of coconut palm and root competition for these elements between the palm and *Calotropis gigantea*. *Journal of Plant Nutrition*, 23(3), 329-338. <https://doi.org/10.1080/01904160009382019>
- Yao, J., Liu, C. Y., Qin, G. Z., & Chen, K. S. (2008). The effect of Nd³⁺ and burdock oligosaccharide on the germination of *Cassia obtusifolia* seeds. *Chin Agric Sci Bull*, 24, 69-72.
- Zhang, C., Li, Q., Zhang, M., Zhang, N., & Li, M. (2013). Effects of rare earth elements on growth and metabolism of medicinal plants. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 3(1), 20-24. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2012.12.0>

