

Potenciando la germinación: el impacto del cebado de las semillas en micronutrientes^φ

Amelio Eli Morales-Morales*, César Márquez-Quiroz,
Sayani Teresa López-Espinosa

Introducción

La germinación es una fase crítica en el ciclo de vida de las plantas que está influenciada por factores ambientales, como humedad, temperatura y nutrientes (Fig. 1) (Caroca *et al.* 2016). Sin embargo, muchas semillas enfrentan condiciones adversas que comprometen su desarrollo inicial y afectan el crecimiento, rendimiento y la calidad del cultivo (Nautiyal *et al.* 2023). El cebado de semillas es una técnica innovadora de bajo costo que mejora la uniformidad de germinación, promueve una emergencia rápida y fortalece el vigor de las plántulas, especialmente bajo estrés (Paparella *et al.* 2015). Durante este pretratamiento, las semillas se hidratan de forma controlada y se activan procesos metabólicos clave sin permitir la emergencia radicular.

La incorporación de micronutrientes, como hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), selenio (Se) y yodo (I), mejora la germinación, incrementa la tolerancia al estrés, enriquece el perfil nutricional del cultivo y contribuye a estrategias de biofortificación para una agricultura más resiliente y nutritiva (Rehman *et al.* 2022). El objetivo de este trabajo es describir la importancia de los micronutrientes Zn, Fe, B, Mo, Se, I en la germinación de semillas, y el efecto positivo del cebado y sus mecanismos fisiológicos y agronómicos en cultivos básicos como estrategia para mejorar el vigor y tolerancia al estrés de las plántulas en la agricultura moderna.

^φ División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Carretera Villahermosa-Teapa km 25+2, R/a La Huasteca 2da sección, C.P. 86280, Centro, Tabasco, México. *Autor de correspondencia: aemm1403@gmail.com
DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6392>





Figura 1. Proceso de germinación en leguminosas influenciada por la humedad, temperatura, microorganismos benéficos del suelo y nutrientes. N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; Ca: calcio; S: azufre; Cu: cobre; Mg: magnesio; Mn: manganeso; Fe: hierro; Zn: zinc, Mo: molibdeno, I: yodo;

ISSN 2007 - 431 X

¿Qué es el cebado de semillas y cómo funciona?

El cebado implica la hidratación controlada, y parcial, de las semillas para activar procesos metabólicos para germinación sin que se produzca la raíz de la planta (Jisha *et al.* 2013). El cebado promueve una mayor tasa de germinación, mayor uniformidad de germinación y, en ocasiones, un mayor porcentaje de germinación total.

Entre los tipos de cebado más utilizados destacan los siguientes (Farooq *et al.* 2012; Miransari y Smith 2014; Singh *et al.* 2015; Forti *et al.* 2020): a) **Hidrocebado:** inmersión de semillas en agua por tiempo controlado para su absorción hasta un nivel subóptimo para la germinación. Permite que las semillas alcancen un nivel de humedad alto en menor tiempo, agrega oxígeno constante, y aumenta el nivel de metabolitos para germinación (Fig. 2); b) **Cebado hormonal:** tratamiento con hormonas vegetales (fitohormonas), como ácido giberélico (GA_3), ácido abscísico (ABA), ácido indolacético (AIA) o citoquininas, que ayudan a la germinación de las plántulas por activación de enzimas como la amilasa y la proteasa que hidrolizan las moléculas de almidón y proteína en formas simples para estar disponibles para la absorción por el embrión (Fig. 2); c) **Cebado biológico:** inoculación de semillas con microorganismos benéficos, como hongos micorrízicos arbusculares (HMA), rizobacterias

promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) o *Trichoderma* spp. para mejorar la resistencia a enfermedades, aumentar la disponibilidad de nutrientes y estimular el crecimiento inicial (Fig. 2); d) **Cebado con micronutrientes**: las semillas son tratadas con soluciones con micronutrientes esenciales absorbidos durante la fase de imbibición y utilizados en las etapas iniciales de germinación y desarrollo de la plántula (Fig. 3).

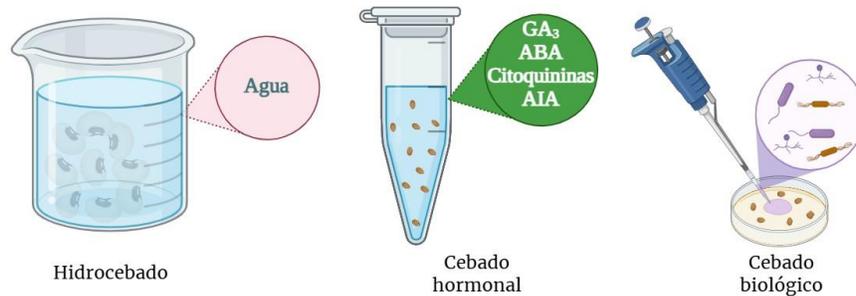


Figura 2. Tipos de cebados utilizados para inducir la germinación de las semillas. GA3: ácido giberélico; ABA: ácido abscísico; AIA: ácido indol-3-acético.



Figura 3. Cebado de semillas con micronutrientes (en diferentes formas químicas) y las etapas posteriores de producción agrícola. SO₄Zn: sulfato de zinc; ZnNPs: nanopartículas de zinc; FeSO₄: sulfato de hierro; Fe-EDTA: quelato de hierro; IONPs: Nanopartículas de óxido de hierro; H₃BO₃: ácido bórico; Na₂SeO₄: selenato de sodio; Na₂SeO₃: selenito de sodio; SeNPs: nanopartículas de selenio; (NH₄)₂MoO₄: molibdato de amonio; Na₂MoO₄: molibdato de sodio; KIO₃: yodato de potasio.

Durante la fase de germinación, y desarrollo temprano, una disponibilidad adecuada de micronutrientes asegura un crecimiento óptimo y fortalece la capacidad de la planta para enfrentar condiciones adversas (Pandey 2018). Sin embargo, la disponibilidad de micronutrientes en el suelo puede estar limitada por factores como el pH, la materia orgánica y la interacción con otros elementos, afectando negativamente el desarrollo inicial de las plantas (Dhaliwal *et al.* 2022). Ante este panorama, el uso de micronutrientes como pretratamiento de semillas se presenta como una alternativa prometedora.

“La incorporación de micronutrientes, como hierro (Fe), zinc (Zn), boro (B), molibdeno (Mo), selenio (Se) y yodo (I), mejora la germinación, incrementa la tolerancia al estrés, enriquece el perfil nutricional del cultivo y contribuye a estrategias de biofortificación para una agricultura más resiliente y nutritiva.”

Efectos del zinc

El zinc (Zn) es un micronutriente esencial en la síntesis de proteínas, regulación hormonal y activación enzimática que favorece la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas (Promu-thai *et al.* 2012). Un exceso de Zn puede inhibir la germinación y cantidades más pequeñas, especialmente mediante cebado, mejora el porcentaje de germinación, el vigor de las plántulas y la tolerancia al estrés en cultivos. Las fuentes más utilizadas para el cebado son el sulfato de zinc ($ZnSO_4$), quelatos (EDTA) y nanopartículas de zinc (Zn-NPs).

Durante el cebado, el Zn es absorbido por el embrión y redistribuido hacia los tejidos en crecimiento para la síntesis de enzimas antioxidantes, estabilizar las membranas celulares y regular el metabolismo de proteínas y carbohidratos (Gajalakshmi *et al.* 2022). Además, el Zn es cofactor en enzimas involucradas en la defensa antioxidante y el metabolismo energético que permite un uso más eficiente de las reservas internas de la semilla (Veena y Puthur 2021). Esta activación metabólica acelera la emergencia de la radícula y del vástago y facilita el establecimiento vigoroso de la plántula.

Posterior a la germinación, el Zn mejora la tolerancia de las plántulas frente a estreses abióticos, como la salinidad, sequía o deficiencia de nutrientes, ya que activa enzimas antioxidantes, como superóxido dismutasa, catalasa y peroxidasa, que neutralizan el daño por las especies reactivas de oxígeno (ROS) (Gajalakshmi *et al.* 2022). Asimismo, fortalece la integridad de las membranas, favorece la síntesis proteica y mejora la regulación osmótica, lo que permite a las plantas adaptarse mejor a condiciones subóptimas (Jan *et al.* 2022).

Hierro: función esencial

El hierro (Fe) cumple funciones clave en la prolongación de la dormancia y afecta negativamente la capacidad germinativa de las semillas. Durante la germinación, el Fe almacenado en las vacuolas es movilizado por los transportadores NRAMP3 y NRAMP4, según la especie de planta (Roschztardtz *et al.* 2020). La falta de movilización puede activar su deficiencia y afectar a los plastidios. El Fe acumulado durante la maduración de la semilla se redistribuye para apoyar el crecimiento inicial hasta que la plántula puede absorberlo del suelo. Esta transición resulta clave para el cambio metabólico de un crecimiento heterotrófico dependiente de reservas hacia uno autótrofo sostenido por la fotosíntesis (Bastow *et al.* 2018).

El cebado con Fe mejora la germinación y aumenta su contenido en las plántulas, especialmente en suelos deficientes. También, protege frente a metales pesados, como el plomo, al favorecer la señalización del ácido giberélico (GA) y reducir la producción de ácido abscísico (ABA) y mejora la germinación en ambientes contaminados (Wang *et al.* 2020). Aunque el Fe es indispensable, su exceso puede ser perjudicial porque cataliza la formación de especies reactivas de oxígeno (ERO), las cuales dañan estructuras celulares (Grillet *et al.* 2014). Para evitar toxicidad, las plantas regulan el transporte, almacenamiento y redistribución de Fe, inmovilizando el exceso mediante proteínas como la ferritina, que actúan como reservorios seguros del micronutriente.

Tabla 1. El papel del hierro (Fe) en la germinación de las semillas.

Función	Descripción
Almacenamiento	Almacenado en vacuolas, o proteínas como la ferritina durante la maduración de las semillas.
Movilización	Removilizado durante la germinación para favorecer el crecimiento temprano de las plántulas.
Papel metabólico	Esencial para la respiración, la síntesis de ADN y la movilización de nutrientes.
Efectos del hierro adecuado	Tasas de germinación más altas, vigor mejorado de las plántulas, mejor establecimiento.
Efectos de la deficiencia	Mala germinación, retraso en el crecimiento, mayor susceptibilidad al estrés.
Manejo de la toxicidad	Secuestro de ferritina, regulación del transporte y almacenamiento para prevenir la formación de ROS.

El boro en la preparación de semillas: relevancia y aplicaciones

El boro (B) es esencial para el desarrollo vegetal, como la estabilidad de membranas, el transporte de azúcares, la síntesis de lignina y la división celular (Behera *et al.* 2023). Durante la germinación, su papel es fundamental para la expansión celular y la formación de tejidos, por lo que su deficiencia puede causar malformaciones radicales y bajo vigor de plántulas (Culpan y Gürsoy 2023).

A nivel fisiológico, estabiliza las paredes celulares por enlaces con pectinas, mejora el transporte de carbohidratos hacia el embrión y regula niveles hormonales como las auxinas, claves para el crecimiento radicular (Camacho-Cristóbal *et al.* 2008). Debido a su estrecho margen entre deficiencia y toxicidad, el uso de B en el cebado debe realizarse con precaución, ya que la dosis, el tipo de compuesto (ácido bórico, borato de sodio), el tiempo de exposición y las condiciones ambientales deben ajustarse cuidadosamente según la especie de planta (Rehman *et al.* 2013; Nciizah *et al.* 2020).

“El cebado implica la hidratación controlada, y parcial, de las semillas para activar procesos metabólicos para germinación sin que se produzca la raíz de la planta. El cebado promueve una mayor tasa de germinación, mayor uniformidad de germinación y, en ocasiones, un mayor porcentaje de germinación total.”

Molibdeno (Mo) y su papel en la germinación

El Mo es esencial para el desarrollo vegetal e importante en leguminosas por la fijación del nitrógeno. Aunque su concentración en la corteza terrestre oscila entre 0.2 y 36 ppm, solo una mínima fracción —alrededor de 4 ppb en solución del suelo— está disponible para las plantas debido a su inmovilización en minerales, sesquióxidos y arcillas (Kabata-Pendias 2011). La forma absorbida más común por las plantas es el anión molibdato (MoO_4^{2-}) que está biodisponible en suelos con pH neutro o alcalino y en el tejido vegetal, su concentración varía de 0.3 a 1.5 ppm, dependiendo de la especie y condiciones edáficas (Rana *et al.* 2020).

En leguminosas, el Mo actúa como cofactor de la enzima nitrogenasa que permite reducir el nitrógeno atmosférico (N_2) hacia amonio (NH_4^+) dentro de los nódulos radiculares en simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* (Okla *et al.* 2021). En plantas no leguminosas, también es vital al formar parte de la enzima nitrato reductasa, clave en la asimilación del nitrógeno mineral. El cebado con Mo ha mostrado efectos positivos sobre la germinación, el vigor y el establecimiento inicial en múltiples cultivos (Majda *et al.* 2019; Nciizah *et al.* 2020; Moharana *et al.* 2023). Estos efectos se atribuyen a una movilización más rápida de reservas desde los cotiledones hacia el eje embrionario, lo que mejora la sincronía de la germinación, incrementa el vigor y fortalece la resiliencia al estrés (Jatana *et al.* 2024). Por ello, el uso de Mo como pretratamiento representa una estrategia eficaz, especialmente en leguminosas y cultivos que requieren un metabolismo eficiente del nitrógeno.

El selenio y su influencia en la germinación

El selenio (Se) es esencial para muchos organismos y, aunque no se considera indispensable para todas las plantas, en dosis adecuadas puede tener efectos positivos en la germinación y el desarrollo temprano de las plántulas (Hu *et al.* 2022). El cebado con Se ha ganado interés por su capacidad para inducir la germinación y estimular el crecimiento inicial, especialmente bajo condiciones adversas (León-Morales *et al.* 2019). No obstante, la respuesta de las plantas al Se es distinta en cada especie y depende de la concentración aplicada. Cultivos, como el maíz, presentan mejoras notables con dosis moderadas, mientras que concentraciones elevadas pueden resultar perjudiciales (Morales-Hernández *et al.* 2024).

El mecanismo de acción del selenio se relaciona principalmente con su efecto antioxidante que protege las células ante el estrés oxidativo durante la germinación, mejora la viabilidad celular y estimula el metabolismo energético y hormonal (Khaliq *et al.* 2015). Además, facilita la movilización de reservas internas lo que fortalece el establecimiento inicial de la plántula. Sin embargo, el Se puede ser tóxico a altas concentraciones. En cultivos de trigo, lechuga, tomate y rábano, dosis elevadas de Se han reducido la germinación, el crecimiento radicular y la biomasa. En plantas no acumuladoras, el Se puede incluso reemplazar al azufre en aminoácidos, provocando daños fisiológicos en raíces y hojas (Hu *et al.* 2022).

Tabla 2. Resumen de los efectos de selenio (Se) por especie vegetal.

Especie vegetal	Efecto del Se en germinación	Concentración efectiva	Efectos negativos a dosis altas
Maíz	Mejora germinación, tasa y desarrollo inicial	50-75 $\mu\text{M L}^{-1}$	Inhibición a 100 $\mu\text{M L}^{-1}$
Tomate, chile, lechuga	Bioestimulación en crecimiento y desarrollo	0.2-1.0 mg L^{-1} (nanopartículas, selenitos)	No especificado, pero en exceso puede ser tóxico
Chile serrano, rábano	Mejora germinación	1.25-5.0 $\mu\text{M L}^{-1}$	No reportado
Arroz	Favorece brotes, raíces y biomasa inicialmente	30-60 $\mu\text{mol L}^{-1}$	Reducción de biomasa a 60 $\mu\text{mol L}^{-1}$ a largo plazo
Maíz híbrido	Aumenta germinación y velocidad de emergencia	0.075 mM (24 h)	No afecta clorofila, efectos tóxicos no reportados

Yodo en el pretratamiento de semillas: mecanismos y beneficios

El yodo (I), al igual que el Se, no es considerado un elemento esencial para las plantas. Sin embargo, puede comportarse como un micronutriente aplicado a dosis muy bajas y principalmente en forma de yoduro o yodato (Medrano-Macías *et al.* 2016). Esto permite mejorar la germinación

y el vigor de las plántulas, especialmente bajo condiciones de estrés, al igual que otros micronutrientes como zinc, molibdeno y hierro. La acción del yodo se relaciona con la protección de la integridad celular, el aumento de la actividad antioxidante y la mejora de la calidad biológica de las plántulas (Krzepiřko *et al.* 2021).

El tratamiento con yodo reduce el deterioro fisiológico de las semillas durante el almacenamiento, mantiene la integridad de las membranas celulares y aumenta la actividad deshidrogenasa lo que se asocia directamente con un mayor vigor de la semilla y una mejor germinación (Ikram *et al.* 2025). Además, incrementa la capacidad antioxidante de las plántulas, así como los niveles de compuestos beneficiosos como fenoles, ácido ascórbico y grupos tiol, sin afectar negativamente la calidad biológica cuando se usa en dosis adecuadas. El yodo como pretratamiento de semillas es una estrategia simple, económica y efectiva para mejorar la germinación y el establecimiento de los cultivos. Además, se alinea con los principios de la agricultura sustentable, al aprovechar elementos naturales para inducir respuestas fisiológicas beneficiosas en las plantas.

Conclusión

El cebado de semillas (*i.e.*, hidratación) con micronutrientes se consolida como una estrategia eficaz, sostenible y de bajo costo para mejorar la germinación, el vigor de las plántulas y su adaptación a condiciones adversas. Esta técnica no solo optimiza procesos metabólicos clave durante la imbibición y la emergencia radicular, sino que también fortalece la resiliencia de los cultivos frente a estreses abióticos, como sequía, salinidad o contaminación por metales pesados. La incorporación de micronutrientes en el cebado ya sea mediante hidrocebado, tratamientos hormonales o biocebado con microorganismos permite superar limitaciones de disponibilidad en suelos deficientes, al tiempo que contribuye a la biofortificación de cultivos básicos, mejorando su valor nutricional. Sin embargo, es crucial ajustar las dosis y formas químicas de aplicación (quelatos, nanopartículas, sales solubles) para evitar efectos fitotóxicos, especialmente en elementos con márgenes estrechos como B, Se o I.

“La incorporación de micronutrientes en el cebado ya sea mediante hidrocebado, tratamientos hormonales o biocebado con microorganismos permite superar limitaciones de disponibilidad en suelos deficientes, al tiempo que contribuye a la biofortificación de cultivos básicos, mejorando su valor nutricional.”

Referencias

- Bastow EL, Garcia de la Torre VS, Maclean AE, Green RT, Merlot S, Thomine S y Balk J. 2018. Vacuolar iron stores gated by NRAMP3 and NRAMP4 are the primary source of iron in germinating seeds. *Plant Physiology* 177(3):1267-1276.
- Behera B, Kancheti M, Raza MB, Shiv A, Mangal V, Rathod G, Altaf MA, Kumar A, Aftab T, Kumar R, Tiwari RK, Lal MK y Singh B. 2023. Mechanistic insight on boron-mediated toxicity in plant vis-a-vis its mitigation strategies: a review. *International Journal of Phytoremediation* 25(1):9-26.
- Camacho-Cristóbal JJ, Rexach J y González-Fontes A. 2008. Boron in plants: deficiency and toxicity. *Journal of Integrative Plant Biology* 50(10):1247-1255.
- Caroca R, Zapata N y Vargas M. 2016. Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences* 32(2):94-101.
- Culpan E y Gürsoy M. 2023. Effects of different boron doses on germination, seedling growth and relative water content of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences* 37(2):389-397.
- Dhaliwal SS, Sharma V, Shukla AK, Verma V, Kaur M, Shivay YS, Nisar S, Gaber A, Brestic M, Barek V, Skalicky M, Ondrisik P y Hossain A. 2022. Biofortification—a frontier novel approach to enrich micronutrients in field crops to encounter the nutritional security. *Molecules* 27(4):1340.
- Farooq M, Wahid A y Siddique KHM. 2012. Micronutrient application through seed treatments: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12(1):125-142.
- Forti C, Shankar A, Singh A, Balestrazzi A, Prasad V y Macovei A. 2020. Hydropriming and bioprimering improve *Medicago truncatula* seed germination and upregulate DNA repair and antioxidant genes. *Genes* 11(3):242.
- Gajalakshmi R, Chitdeshwari T, Maragatham S y Ravikesavan R. 2022. Seed priming with different levels and sources of zinc on the seed germination and seedling growth of barnyard millet (*Echinocola frumentacea*). *Journal of Applied and Natural Science* 14(3):876-884.
- Grillet L, Mari S y Schmidt W. 2014. Iron in seeds – loading pathways and subcellular localization. *Frontiers in Plant Science* 4:535.
- Hu F, Jiang S, Wang Z, Hu K, Xie Y, Zhou L, Zhu J, Xing D y Du B. 2022. Seed priming with selenium: Effects on germination, seedling growth, biochemical attributes, and grain yield in rice growing under flooding conditions. *Plant Direct* 6(1):e378.
- Ikram N, Ghaffar A, Khan A, Nawaz F y Hussain A. 2025. Optimizing iodine seed priming for enhanced yield and biofortification of tomato. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 25:1901-1912.
- Jan AU, Hadi F, Ditta A, Suleman M y Ullah M. 2022. Zinc-induced anti-oxidative defense and osmotic adjustments to enhance drought stress tolerance in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Environmental and Experimental Botany* 193:104682.
- Jatana BS, Grover S, Ram H y Baath GS. 2024. Seed priming: molecular and physiological mechanisms underlying biotic and abiotic stress tolerance. *Agronomy* 14(12):2901.
- Jisha KC, Vijayakumari K y Puthur JT. 2013. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. *Acta Physiologiae Plantarum* 35:1381-1396.
- Kabata-Pendias A. 2012. Trace elements in soils and plants. Fourth Edition. Taylor & Francis Group. EE.UU. 533 pp.

- Khaliq A, Aslam F, Matloob A, Hussain S, Geng M, Wahid A y Rehman H. 2015. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. *Biological Trace Element Research* 166(2):236-244.
- Krzepińko A, Święciło A y Zych-Wężyk I. 2021. The antioxidant properties and biological quality of radish seedlings biofortified with iodine. *Agronomy* 11(10):2011.
- León-Morales Jm, Panamá-Raymundo W, Langarica-Velázquez Ec y García-Morales S. 2019. Selenio y vanadio en la germinación y el crecimiento de plántulas de chile (*Capsicum annuum* L.) y rábano (*Raphanus sativus*). *Revista Bio Ciencias* 6:e425.
- Majda C, Khalid D, Aziz A, Rachid B, Badr AS, Lotfi A y Mohamed B. 2019. Nutri-priming as an efficient means to improve the agronomic performance of molybdenum in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Science of the Total Environment* 661:654-663.
- Medrano-Macías J, Leija-Martínez P, González-Morales S, Juárez-Maldonado A y Benavides-Mendoza A. 2016. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science* 7:1146.
- Miransari M y Smith DL. 2014. Plant hormones and seed germination. *Environmental and Experimental Botany* 99:110-121.
- Moharana A, Mohanty S, Lenka D, Nayak RK, Jena SN, Satapathy M y Jyothi GBN. 2023. Effect of seed priming and coating with boron and molybdenum on seed physiological quality and seed yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *The Pharma Innovation Journal* 12(1):1021-1026.
- Morales-Hernández LY, Márquez-Quiroz C, Aguilar-Sánchez NC, Alvarado-López CJ, de la Cruz-Lázaro E y Morales-Morales AE. 2024. Selenium treatment enhances the germination and growth of corn seedlings. *Revista Bio Ciencias* 11:e1618.
- Nautiyal PC, Sivasubramaniam K y Dadlani M. 2023. Seed dormancy and regulation of germination. En: Dadlani M y Yadava DK (eds.) *Seed Science and Technology, Biology, Production, Quality*. Springer. Singapur. pp. 39-66.
- Nciizah AD, Rapetsoa MC, Wakindiki II y Zerizghy MG. 2020. Micronutrient seed priming improves maize (*Zea mays*) early seedling growth in a micronutrient deficient soil. *Heliyon* 6(8):e04766.
- Okla MK, Akhtar N, Alamri SA, Al-Qahtani SM, Ismail A, Abbas ZK, Al-Ghamdi AA, Qahtan AA, Soufan WH, Alaraidh IA, Alaraidh IA, Selim S y Abdelward H. 2021. Potential importance of molybdenum priming to metabolism and nutritive value of *Canavalia* spp. sprouts. *Plants* 10(11):2387.
- Pandey SN. 2018. Biomolecular functions of micronutrients toward abiotic stress tolerance in plants. En: Hasanuzzaman M, Fujita M, Oku H, Nahar K y Hawrylak-Nowak B (eds.) *Plant nutrients and abiotic stress tolerance*. Springer Singapur. pp. 153-170.
- Paparella S, Araújo SS, Rossi G, Wijayasinghe M, Carbonera D y Balestrazzi A. 2015. Seed priming: state of the art and new perspectives. *Plant Cell Reports* 34(8):1281-1293.
- Prom-u-thai C, Rerkasem B, Yazici A y Cakmak I. 2012. Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 175(3):482-488.
- Rana MS, Bhantana P, Sun XC, Imran M, Shaaban M, Moussa MG, Saleem MH, Elyamine AM, Binyamin R, Alam M, Afzal J, Khan I, Din IU, Ahmad I, Younas M, Kamran M y Hu CX. 2020. Molybdenum as an essential element for crops: an overview. *International Journal of Scientific & Technical Research* 24(5):18535-18547.
- Rehman AU, Farooq M, Cheema ZA y Wahid A. 2013. Role of boron in leaf elongation and tillering dynamics in fine-grain aromatic rice. *Journal of Plant Nutrition* 36(1):42-54.

- Rehman HU, Farooq M, Hussain M y Basra SM. 2022. Rice seed and seedling priming. En: Sarwar N, Rehman AU, Ahmad S y Hasanuzzaman M (eds.) Modern techniques of rice crop production. Springer. Singapur. pp. 43-57.
- Roschztardt H, Gaymard F y Dubos C. 2020. Transcriptional regulation of iron distribution in seeds: a perspective. *Frontiers in Plant Science* 11:725.
- Singh NB, Singh D y Singh A. 2015. Biological seed priming mitigates the effects of water stress in sunflower seedlings. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 21: 207-214.
- Veena M y Puthur JT. 2022. Seed nutripriming with zinc is an apt tool to alleviate malnutrition. *Environmental Geochemistry and Health* 44:2355-2373.
- Wang L, Liu B, Wang Y, Qin Y, Zhou Y y Qian H. 2020. Influence and interaction of iron and lead on seed germination in upland rice. *Plant and Soil* 455:187-202.

Morales Morales AE, Márquez Quiroz C, López Espinosa ST. 2025. Potenciando la germinación: el impacto del cebado de las semillas en micronutrientes. *Bioagrociencias* 18 (2): 48-58.

DOI: <http://doi.org/10.56369/BAC.6392>

