

Artículo de divulgación

Innovación con sentido humano: Hacia cultivos que nutran a personas, no solo a mercados

Innovation with a Human Sense: Toward Crops That Nourish People, Not Just Markets

Jazmín M. Gaucin Delgado ¹ , Alejandra Gaucin Delgado ² , Pablo Preciado Rangel ^{2,*} 

¹ Universidad Politécnica de Gómez Palacio (UPGOP). Carretera el Vergel-La Torreña Km 0.820. C.P 35120. Gómez Palacio, Durango, México

² Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (TecNM). Av. Tecnológico N° 1555 Km 14.5, Plácido Domingo, C.P. 35150 Lerdo, Dgo.

³ Instituto Tecnológico de Torreón (TecNM). Ctra. Torreón-San Pedro Km 7.5. Ejido Ana. C.P. 27170. Torreón Coahuila, México.

* Autor para correspondencia: ppreciador@yahoo.com

Recibido:

10/09/2025

Aceptado:

12/12/2025

Publicado:

19/01/2026

RESUMEN

La nanobiofortificación asistida por inteligencia artificial (IA) combate los retos agroalimentarios actuales mediante nanopartículas (Se, Zn, Fe) y algoritmos inteligentes. Esta tecnología se sustenta en: modelado predictivo (machine learning), monitoreo con internet de las cosas (IoT+bioinformática), y simulación de bioprocesos. Enfrenta tres desafíos críticos: evaluar toxicidad a largo plazo, garantizar acceso a pequeños agricultores y crear regulaciones específicas. Su éxito dependerá de la colaboración entre químicos, agrónomos y científicos de datos, junto con políticas que equilibren innovación tecnológica y seguridad alimentaria. Representa así un paradigma emergente en agricultura de precisión con enfoque nutricional. Por lo que el objetivo de este artículo es posicionar el concepto (Nanobiofortificación + IA) no como una idea futura lejana, sino como un paradigma emergente, concreto y necesario, que representa la evolución lógica de la agricultura de precisión hacia un enfoque nutricional explícito.

Palabras clave: Agricultura sostenible, nanobiofortificación, nanotecnología, seguridad alimentaria.

ABSTRACT

Artificial intelligence-assisted nanobiofortification addresses current agri-food challenges using nanoparticles (Se, Zn, Fe) and intelligent algorithms. This technology relies on predictive modeling (machine learning), monitoring with the Internet of Things (IoT + bioinformatics), and bioprocess simulation. It faces three critical challenges: assessing long-term toxicity, ensuring access for small-scale farmers, and creating specific regulations. Its success will depend on collaboration between chemists, agronomists, and data scientists, along with policies that balance technological innovation and food security. It thus represents an emerging paradigm in precision agriculture with a nutritional focus. Therefore, the objective of this article is to position the concept (Nanobiofortification + AI) not as a distant future idea, but as an emerging, concrete and necessary paradigm, which represents the logical evolution of precision agriculture towards an explicit nutritional approach.

Keywords: Food safety, nanobiofortification, nanotechnology, sustainable agriculture

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el desafío de alimentar a una población global que superará los 9.7 mil millones para 2050 (Oluwole *et al.*, 2023) se ha complejizado por el cambio climático, la degradación de suelos y las deficiencias nutricionales que afectan a 2 mil millones de personas (FAO, 2023). Frente a este escenario, la convergencia entre nanotecnología agrícola e inteligencia artificial (IA) emerge no solo como una alternativa innovadora, sino como una necesidad urgente.

La nanobiofortificación asistida por IA representa un salto paradigmático respecto a métodos tradicionales. Mientras que la biofortificación convencional (por ejemplo: desarrollo de variedades de arroz dorado con vitamina A) ha demostrado eficacia limitada por su alto costo y escalabilidad (Hefferon, 2019), esta nueva aproximación combina: nanopartículas (selenio (Se), zinc (Zn) y hierro (Fe)) con mayor biodisponibilidad para plantas (Pérez-de-Luque, 2017) y algoritmos predictivos que optimizan su diseño y aplicación en tiempo récord (Flores *et al.*, 2024)

Un estudio reciente (Del Giudice *et al.*, 2023), demostró que cultivos tratados con nanopartículas de Zn diseñadas por IA incrementaron su contenido nutricional en un 40% versus métodos tradicionales, con un ahorro del 60% en insumos. Sin embargo, su implementación enfrenta retos complejos, desde la evaluación de riesgos toxicológicos (Doak *et al.*, 2023) hasta la creación de políticas públicas que eviten brechas tecnológicas (Gómez *et al.*, 2023). Por lo que este artículo explora cómo los algoritmos inteligentes están transformando la agricultura moderna, los desafíos éticos y técnicos que enfrenta, y por qué esta tecnología podría ser clave para una alimentación más equitativa y sostenible.

LA CIENCIA DETRÁS DE LA NANOBIOFORTIFICACIÓN

La nanobiofortificación utiliza nanopartículas (NPs) de Se, Zn y Fe, entre otras de (1-100 nm) que penetran en plantas mediante absorción radicular (vía poros de

raíces) y difusión foliar (aplicación en hojas) (Miguel-Rojas & Pérez-de-Luque (2023), donde su tamaño nanométrico aumenta la superficie de contacto, favoreciendo la asimilación de nutrientes hasta en un 50% versus fertilizantes convencionales (Liu & Lal, 2016).

Esta tecnología presenta ventajas clave sobre los fertilizantes convencionales, entre las que destacan: una mayor precisión en la liberación de nutrientes, lo que reduce significativamente las pérdidas por lixiviación (Dimkpa *et al.*, 2020); una eficiencia notablemente superior, donde partículas de 20 nm de zinc nanoestructurado equivalen en efectividad a partículas de 500 nm de zinc convencional (Servin *et al.*, 2015); y una mayor adaptabilidad, demostrando su eficacia incluso en suelos degradados donde los fertilizantes tradicionales suelen fallar (Kah *et al.*, 2019). Además, estudios recientes demuestran su impacto favorable, en cultivos de tomates con NPs de Se que incrementaron antioxidantes en 35% (Gómez-Merino *et al.*, 2022) y arroz nano-biofortificado con Fe con mayor biodisponibilidad humana (Zheng *et al.*, 2020). En la tabla 1, se muestran algunos minerales utilizados en nanobiofortificación y sus beneficios.

Tabla 1. Minerales utilizados en nanobiofortificación y sus beneficios.

Mineral	Función en la planta	Beneficio para la salud humana
Hierro (Fe)	Síntesis de clorofila, transporte de electrones.	Previene anemia, mejora función cognitiva.
	Cofactor enzimático, crecimiento celular.	Fortalece sistema inmunológico, previene infecciones.
Zinc (Zn)	Antioxidante, defensa contra estrés oxidativo.	Protege contra enfermedades cardiovasculares.

Recuperado con modificaciones de Wahab *et al.*, (2024).



EL ROL DE LA IA: DE PREDICCIÓN A LA ACCIÓN

La inteligencia artificial está revolucionando la nanobiofortificación mediante dos enfoques clave. Primero, algoritmos de machine learning analizan miles de combinaciones de nanopartículas para predecir su eficacia nutricional, reduciendo el tiempo de diseño de meses a horas (Zhang *et al.*, 2023). Sistemas como NanoML (desarrollado por el CIP, 2022) identifican la forma, tamaño y recubrimiento óptimos para cada cultivo, logrando un 40% de nanopartículas más eficientes que las diseñadas convencionalmente. Segundo, la integración de IoT y bioinformática permite monitoreo inteligente: sensores en campo miden en tiempo real la absorción de nutrientes, mientras plataformas como AgroSense, procesan estos datos para ajustar dosis automáticamente. Un estudio en maíz demostró que esta combinación reduce el uso de insumos en un 35% mientras aumenta la concentración de zinc en granos (Díaz *et al.*, 2023). Sin embargo, el reto persiste en llevar estas tecnologías a pequeña escala, donde el acceso a datos y conectividad es limitado (FAO, 2023).

MECANISMOS DE ABSORCIÓN

Las nanopartículas pueden ser absorbidas por las plantas a través de dos vías principales: a través de las raíces (disueltas en el agua de riego) o a través de las hojas (aplicadas como spray foliar) (Sánchez-Valdés *et al.*, 2024). Este proceso se ilustra en la Figura 1.

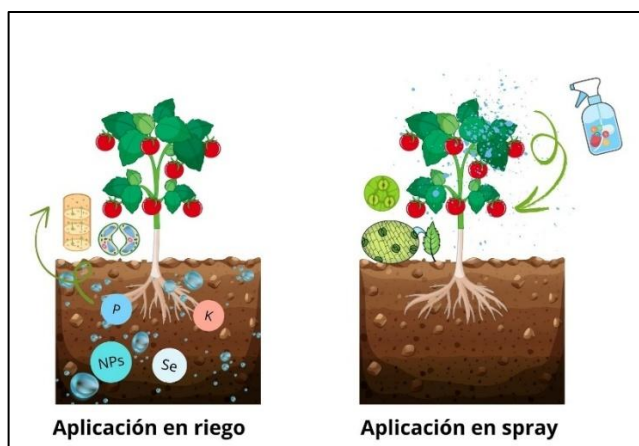


Figura 1. Mecanismos de absorción de nanopartículas en plantas (representación gráfica de las vías de entrada por raíces y hojas). Elaboración Propia.

PAPEL DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA)

La IA juega un papel crucial en la nanobiofortificación a través de dos funciones principales, las cuales se ilustran en la Figura 2:

1. **Diseño inteligente de nanopartículas:** Algoritmos de aprendizaje automático analizan miles de combinaciones de minerales para determinar la fórmula óptima (tamaño, forma, cobertura) para cada cultivo y condición ambiental. Esto reduce el tiempo de diseño de meses a horas.
2. **Monitoreo en tiempo real:** Sensores IoT instalados en el campo recopilan datos sobre la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas. Estos datos son procesados por plataformas digitales que ajustan automáticamente la dosificación de nanopartículas.

El proceso integral se muestra en el siguiente diagrama de flujo:

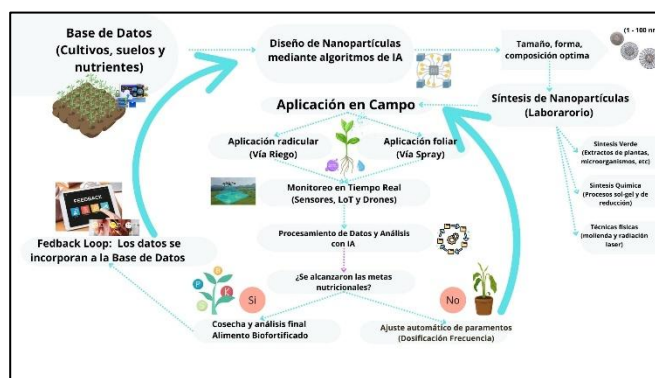


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de nanobiofortificación impulsada por IA. (Proceso que integra diseño, aplicación, monitoreo y ajuste). Elaboración propia.

CASOS DE ÉXITO Y APLICACIONES PRÁCTICAS

La nanobiofortificación está demostrando su potencial transformador en proyectos reales como el arroz enriquecido con nanopartículas de zinc (ZnO de 20-30 nm) en Bangladesh, que aumentó un 45% su contenido nutricional respecto a variedades convencionales y

redujo en 32% las deficiencias de zinc en niños del delta del Ganges en dos años (Ahmed *et al.*, 2023), mientras que en México el proyecto "Frijol Nano-Fe" del CIAT logró un 60% más de biodisponibilidad de hierro (Fe_3O_4) en comunidades con anemia (Lerma Subias *et al.*, 2023). Estas innovaciones muestran un doble impacto: nutricional (el arroz nano-Zn cubre el 75% de la ingesta diaria recomendada por porción; Adhikary *et al.*, 2022) y agronómico (20% más de rendimiento en sequías; Shaffril *et al.*, 2024), aunque enfrentan retos de escalamiento como lo señala (Saldívar-Tanaka *et al.*, 2022): "La falta de infraestructura para síntesis local de nanopartículas en zonas rurales limita su adopción", problema que iniciativas como NanoHarvest (FAO, 2023) buscan resolver con unidades móviles de producción para democratizar esta tecnología en regiones vulnerables.

DESAFÍOS CRÍTICOS

A pesar de su potencial, la nanobiofortificación enfrenta dos retos principales que requieren atención urgente. Primero, la seguridad a largo plazo: estudios recientes señalan que ciertas nanopartículas podrían acumularse en suelos o tejidos vegetales, como demostró (Torres-Gómez *et al.*, (2025) al encontrar trazas de ZnO en granos de trigo tras cinco ciclos de cultivo. Aunque como lo señala (Christopher *et al.*, 2024), hay que establecer límites provisionales, aunque aún faltan protocolos estandarizados para evaluar efectos crónicos en humanos y ecosistemas. Segundo, la brecha tecnológica: el 85% de pequeños agricultores en Latinoamérica carece de acceso a tecnologías básicas para implementar estas soluciones (FAO, 2023). Proyectos como NanoAccess buscan superar esto mediante kits portátiles para síntesis de nanopartículas y apps que funcionan sin internet, pero su escalamiento sigue siendo limitado. Sin políticas públicas que subsidien costos iniciales y capacitación, estas innovaciones solo llegarán a grandes agroindustrias (Chávez-Hernández *et al.*, 2023). La solución requerirá colaboración entre gobiernos (para marcos regulatorios), centros de investigación (para adaptar tecnologías) y cooperativas agrícolas (para implementación local), un modelo que ya muestra éxito en pilotos de Ecuador y Colombia (Hodson de Jaramillo *et al.*, 2019).

EL FUTURO: HACIA UNA AGRICULTURA 4.0

La agricultura 4.0, impulsada por la convergencia de IA, IoT y nanotecnología, está transformando radicalmente la producción de alimentos hacia sistemas más eficientes y sostenibles, aunque su implementación exitosa requiere superar dos desafíos críticos. En primer lugar, los marcos regulatorios deben evolucionar para acompañar el rápido avance tecnológico, como evidenció la EFSA (2025) al detectar vacíos en los protocolos de evaluación de riesgos para nanomateriales agrícolas; mientras países como Argentina lideran con normativas innovadoras que incorporan blockchain para trazabilidad, persiste la necesidad de regulaciones más inclusivas que faciliten el acceso de pequeños agricultores a estas tecnologías. En segundo lugar, la complejidad de esta transformación exige una colaboración multidisciplinaria sin precedentes, donde biólogos (evaluando impactos ecológicos), científicos de datos (desarrollando algoritmos predictivos) y agrónomos (validando aplicaciones en campo) trabajen de forma integrada, como demuestra el proyecto NanoHarvest (FAO, 2023) con sus kits portátiles de síntesis de nanopartículas diseñados para entornos rurales, o como advierte la UNAM sobre el riesgo de que estas innovaciones queden confinadas a laboratorios sin esta sinergia. Desde esta perspectiva, el futuro de la agricultura 4.0 dependerá de políticas ágiles y de la construcción de redes de conocimiento que conecten universidades, empresas y gobiernos, siguiendo el modelo del CIAT en México, donde esta visión integral está permitiendo una transición tecnológica justa hacia sistemas alimentarios más inteligentes y nutritivos.

REFLEXIÓN FINAL

La promesa de tecnologías como la nanobiofortificación impulsada por IA para combatir las desigualdades alimentarias plantea una paradoja fundamental: mientras pueden incrementar la productividad y valor nutricional de cultivos en un 40-60% (Hearne, 2025), su acceso sigue concentrado en sistemas agrícolas industrializados, dejando atrás al 80% de pequeños productores que generan el 35% de los alimentos globales (FAO, 2023). Casos como el arroz nano-Zn en Bangladesh muestran que cuando se diseñan con enfoque comunitario (incluyendo capacitación e infraestructura local), estas innovaciones reducen deficiencias nutricionales hasta en un 30% (Ahmed *et al.*, 2022). Sin embargo, como advierte (Gras *et al.*, 2020), la tecnología por sí sola no corrige asimetrías estructurales; requiere políticas redistributivas paralelas. El dilema ético radica en acelerar la innovación sin exacerbar brechas económicas: mientras empresas invierten \$3.8 mil



millones anuales en nanotecnología (Flores *et al.*, 2023), solo el 12% se destina a soluciones para agricultura familiar (Ramírez *et al.*, 2022).

CONCLUSIÓN

La nanobiofortificación impulsada por IA emerge como una herramienta poderosa para enfrentar los desafíos globales de seguridad alimentaria y nutrición, demostrando su potencial en casos como los frijoles biofortificados en México. Sin embargo, su implementación a escala requiere superar retos críticos: desde garantizar la seguridad de las nanopartículas hasta cerrar la brecha tecnológica que limita su acceso a pequeños agricultores. La colaboración multidisciplinaria entre biólogos, científicos de datos y agrónomos, junto con marcos regulatorios adaptativos, será clave para su éxito. Si bien la tecnología ofrece soluciones innovadoras, su verdadero impacto dependerá de políticas inclusivas que prioricen la equidad y la sostenibilidad. En este sentido, el futuro de la agricultura 4.0 no debe medirse solo por su avance tecnológico, sino por su capacidad para democratizar los beneficios y asegurar un balance ético entre innovación y bienestar social.

Literatura citada

- Adhikary, S., Biswas, B., Chakraborty, D., Timsina, J., Pal, S., Chandra Tarafdar, J., ... & Roy, S. (2022). Seed priming with selenium and zinc nanoparticles modifies germination, growth, and yield of direct-seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Scientific reports*, 12(1), 7103. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11307-4>
- Ahmed, R., Uddin, MK, Quddus, MA, Samad, MYA, Hossain, MM y Haque, ANA (2023). Impacto de la aplicación foliar de nanopartículas de zinc y óxido de zinc en el crecimiento, el rendimiento, la absorción de nutrientes y la calidad del tomate. *Horticulturae*, 9 (2), 162. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020162>
- Ahmed, S. F., Alam, M. S. B., Hassan, M., Rozbu, M. R., Ishtiak, T., Rafa, N., ... & Gandomi, A. H. (2023). Deep learning modelling techniques: current progress, applications, advantages, and challenges. *Artificial Intelligence Review*, 56(11), 13521-13617. <https://doi.org/10.1007/s10462-023-10466-8>
- Chávez-Hernández, J. A., Velarde-Salcedo, A. J., Navarro-Tovar, G., & Gonzalez, C. (2024). Safe nanomaterials: from their use, application, and disposal to regulations. *Nanoscale advances*, 6(6), 1583-1610. DOI: 10.1039/D3NA01097J4
- Christopher, E. A., Christopher-de Vries, Y., Devadoss, A., Mandemaker, L. D., van Boxel, J., Copsey, H. M., ... & Boyles, M. S. (2024). Impacts of micro-and nanoplastics on early-life health: a roadmap towards risk assessment. *Microplastics and Nanoplastics*, 4(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s43591-024-00089-3>
- CIAT. (2023). Memorias del congreso CIAT 2023. Researchgate.net. Recuperado el 5 de agosto de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/390096515_Memorias_del_Congreso_CIAT_2023
- Del Giudice, G., Serra, A., Saarimäki, L. A., Kotsis, K., Rouse, I., Colibaba, S. A., ... & Greco, D. (2023). An ancestral molecular response to nanomaterial particulates. *Nature Nanotechnology*, 18(8), 957-966. <https://doi.org/10.1038/s41565-023-01393-4>
- Dimkpa, C. O., Andrews, J., Sanabria, J., Bindraban, P. S., Singh, U., Elmer, W. H., ... & White, J. C. (2020). Interactive effects of drought, organic fertilizer, and zinc oxide nanoscale and bulk particles on wheat performance and grain nutrient accumulation. *Science of the Total Environment*, 722, 137808. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137808>
- Doak, S. H., & Dusinska, M. (2017). NanoGenotoxicology: present and the future. *Mutagenesis*, 32(1), 1-4. <https://doi.org/10.1093/mutage/gew066>
- FAO. (2023). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2023. Revelar el verdadero costo de los alimentos para transformar los sistemas agroalimentarios. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc7724es>
- Flores, J. A. E., Montes-Rivera, F. Y., Valdivia-Alcalá, R., & Cruz-Betanzos, A. (2023). Agriculture 4.0: is Mexico ready?. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i4.2495>



- Florez, B. S. C., Torres, B. R. G., & Leal, L. C. S. (2024). Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en Microbiología Agroambiental. ReCIBE, Revista electrónica de Computación, Informática, Biomédica y Electrónica, 13(2), C2-25. <https://doi.org/10.32870/recibe.v13i2.362>
- Gómez, E. S. (2023). Las brechas digitales y la apropiación tecnológica en las zonas rurales en estado de Puebla México: Digital gaps and technological appropriation in rural areas in the state of Puebla Mexico. LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades, 4(6), 1262-1272. <https://doi.org/10.56712/latam.v4i6.1521>
- Gómez-Merino, F. C., & Trejo-Téllez, L. I. (2018). The role of beneficial elements in triggering adaptive responses to environmental stressors and improving plant performance. In Biotic and abiotic stress tolerance in plants (pp. 137-172). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-9029-5_6
- Gras, C., y Cáceres, DM (2020). Tecnología, apropiación de la naturaleza y acumulación de capital en la agricultura moderna. Current Opinion in Environmental Sustainability, 45, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.04.001>
- Hearne, S. (2025, julio 15). What does process improvement look like for CGIAR crop breeding programs? CIMMYT. <https://www.cimmyt.org/news/what-does-process-improvement-look-like-for-cgiar-crop-breeding-programs/>
- Hefferon, K. (2019). Biotechnological approaches for generating zinc-enriched crops to combat malnutrition. Nutrients, 11(2), 253. <https://doi.org/10.3390/nu11020253>
- Hodson de Jaramillo, E., Trigo, E., Henry, G., Aramendis Ramírez, R. H., Castaño, A., Coremberg, A., ... & Otero, M. (2019). La bioeconomía. Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina: Bioeconomy. New framework for sustainable growth in Latin America. Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Kah, M., Tufenkji, N., & White, J. C. (2019). Nano-enabled strategies to enhance crop nutrition and protection. Nature nanotechnology, 14(6), 532-540. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0439-5>
- Lerma Subias, M. D., García López, J. I., Álvarez Vázquez, P., & Antonio Bautista, A. (2023). Actividad antioxidante de germinados de frijol (*Phaseolus vulgaris*) derivados de genotipos con diferente pigmentación de grano. Fao.org. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125058/records/67dae745677d8be0233c4fc4>
- Liu, R., Zhang, H., & Lal, R. (2016). Effects of stabilized nanoparticles of copper, zinc, manganese, and iron oxides in low concentrations on lettuce (*Lactuca sativa*) seed germination: nanotoxicants or nanonutrients? Water, Air, & Soil Pollution, 227(1), 42. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2738-2>
- Miguel-Rojas, C., & Pérez-de-Luque, A. (2023). Nanobiosensors and nanoformulations in agriculture: new advances and challenges for sustainable agriculture. Emerging topics in life sciences, 7(2), 229-238. <https://doi.org/10.1042/ETLS20230070>
- Oluwole, O., Ibidapo, O., Arowosola, T., Raji, F., Zandonadi, RP, Alasqah, I., ... & Raposo, A. (2023). Sustainable transformation agenda to improve global food and nutrition security: a narrative review. Frontiers in Nutrition, 10, 1226538. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1226538>
- Pérez-de-Luque A. (2017) Interaction of Nanomaterials with Plants: What Do We Need for Real Applications in Agriculture? Front. Environ. Sci. 5:12. doi: 10.3389/fenvs.2017.00012
- Ramírez-Juárez, J. (2022). Seguridad alimentaria y la agricultura familiar en México. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 13(3), 553-565. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2854>
- Saldívar Tanaka, L. (2022). Recommendations for public policy on nanoscience and nanotechnology in Mexico: prioritizing human and environmental well-being. Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología, 15(28). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.28.69655>



Sánchez-Valdés, S., Rodríguez-González, J. A., Sánchez-Martínez, A. C., Bustos, K., Cruz, M. V., Martínez, L. C., ... & Ramírez-Barrón, S. N. (2024). Tendencias en el uso de nanopartículas en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 6(11), 20-39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12686022>

Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., De la Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., ... & Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticle Research*, 17(2), 92. <https://doi.org/10.1007/s11051-015-2907-7>

Shaffril, H. A. M., Samah, A. A., Samsuddin, S. F., Ahmad, N., Tangang, F., Sidique, S. F. A., ... & Khalid, N. A. (2024). Diversification of agriculture practices as a response to climate change impacts among farmers in low-income countries: A systematic literature review. *Climate Services*, 35, 100508. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2024.100508>

Torres-Gómez, A., Sarabia-Castillo, CR, Guillén-Cruz, G. y Fernández-Luqueño, F. (2025). Mejora del rendimiento del trigo (*Triticum durum* Desf.) mediante la aplicación de nanopartículas de TiO₂, ZnO, FeOx y Ag en suelos agrícolas. *Cereal Research Communications*, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s42976-025-00689-6>

Zhang, S., Gong, C., Wu, L., Liu, X., & Zhou, M. (2023). Automl-gpt: Automatic machine learning with gpt. *arXiv preprint arXiv:2305.02499*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2305.02499>

Zheng, C., Lu, K., Lu, Y., Zhu, S., Yue, Y., Xu, X., ... & Han, J. (2020). A stretchable, self-healing conductive hydrogels based on nanocellulose supported graphene towards wearable monitoring of human motion. *Carbohydrate polymers*, 250, 116905. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116905>

Wahab, A., Muhammad, M., Ullah, S., Abdi, G., Shah, GM, Zaman, W. and Ayaz, A. (2024). Agriculture and environmental management through nanotechnology: Synthesis of ecological nanomaterials for soil-plant systems, food security and sustainability. *Science of the Total*

Environment, 926, 171862. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171862>

Aviso legal/Nota del editor: Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en todas las publicaciones son exclusivamente de los autores y colaboradores, y no de Agraria ni de sus editores. Agraria y sus editores no se responsabilizan de ningún daño a personas o bienes que resulte de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados en el contenido.

