

Nanotecnología aplicada al rescate del suelo para la seguridad alimentaria

Nanotechnology applied to soil rescue for food security

Alma Rosa Ayala Virelas¹, Nuria Gómez Dorantes²
y Víctor López Maldonado^{1,2}

1. Escuela Preparatoria "Melchor Ocampo", Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). 2. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, UMSNH. Morelia, Mich., México.

Contacto: victor.lopez@umich.mx

Resumen. El suelo es crucial para sostener la vida, proporcionando nutrientes esenciales, almacenando carbono y soportando el 95% de la producción mundial de alimentos. Sin embargo, la calidad del suelo está en declive debido a factores como la erosión y la disminución de la biodiversidad. Sólo el 11% de la superficie terrestre es apta para la agricultura, y un tercio del área cultivable se ha degradado. La degradación afecta la seguridad alimentaria de manera negativa y contribuye al cambio climático. Para combatir esto, se han lanzado campañas como la Alianza Mundial por el Suelo y el Día Mundial del Suelo. La intervención humana, como la agricultura y la urbanización, acelera la degradación del suelo. La nanotecnología ofrece soluciones prometedoras, como nanofertilizantes y nanopartículas, para mejorar la calidad del suelo, reducir contaminantes y aumentar la productividad agrícola; esto último, contribuye al cumplimiento del Derecho Humano a la alimentación.

Palabras clave: alimentación, degradación, nanopartículas, suelo.

Abstract. Soil is crucial for sustaining life, providing essential nutrients, storing carbon, and supporting 95% of global food production. However, soil quality is declining due to factors like erosion and biodiversity loss. Only 11% of Earth's surface is suitable for agriculture, and one-third of cultivable land is degraded. This degradation affects food security and contributes to climate change. Campaigns like the Global Soil Partnership and World Soil Day have been launched to address this issue. Human activities such as agriculture and urbanization accelerate soil degradation. Nanotechnology offers promising solutions, such as nanofertilizers and nanoparticles, to improve soil quality, reduce contaminants, and increase agricultural productivity.

Key words: feeding, degradation, soil, nanoparticles,



Fig. 1. Cartel utilizado por la FAO en el 2015 para promover el día mundial del suelo. La temática fue "suelos saludables para una vida saludable".

Importancia del suelo

Al salir de viaje cualquier persona puede apreciar los diversos cambios en el paisaje; así, la disminución de estructuras de concreto anuncia la salida de la ciudad y aparecen -de manera cada vez más constante- pequeños espacios de terreno campestre con unos brochazos de vegetación alusiva a la zona geográfica. De tal suerte que, si la distancia a recorrer es muy larga habrá la posibilidad de observar distintos tipos de ecosistemas.

Dentro de estos paisajes es muy común encontrar amplias zonas dedicadas al cultivo de diversos alimentos ya sea para los animales o el consumo humano.

En este sentido, los cultivos generalmente están en concordancia con los factores abióticos de la zona, como lo son: humedad, temperatura, presión atmosférica, altitud, latitud, lluvia, suelo, entre otros. En este contexto, el suelo se presenta como un elemento del paisaje, sin embargo, es mucho más.

De manera puntual, la afirmación de que el suelo sostiene todas las formas de vida del planeta no resulta exagerada, debido a tres razones fundamentales:

Proporciona todos los nutrientes esenciales para los seres vivos debido a su estructura compuesta por una ligera capa de materia orgánica generada por la descomposición de residuos animales, vegetales y microbianos (5%), minerales (45%) -los cuales generalmente le dan el color característico a la tierra-, aire (25%) y agua (25%), por lo tanto, la formación del suelo es la suma de los siguientes factores: clima, seres vivos, relieve, tiempo y roca madre o material de origen (Porta, 2014).

La composición del suelo contribuye a la fijación y almacenamiento de emisiones de carbono a través de la cobertura vegetal, ayudando así a combatir el cambio climático.

El suelo sostiene de manera directa o indirecta el 95% de la producción de alimentos a nivel global (FAO, 2015). Al respecto, es importante recordar que el nivel poblacional se encuentra en aumento constante y la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha estimado que para el año 2050 existirán -en promedio- nueve mil setecientos millones de habitantes y lógicamente, esto tendrá como consecuencia una mayor demanda de alimentos (ONU, 2022) que dependerán directamente de la calidad del suelo ya que a mayor degradación menor producción de alimentos.

Por lo anterior, resulta importante y preocupante considerar la calidad del suelo, la cual, puede ser entendida como la habilidad de un tipo particular de suelo para operar, ya sea en ecosistemas naturales o administrados, cuyo objetivo es sostener la productividad de la flora y fauna, preservar o incrementar la calidad del agua y el aire, y servir como base para la salud y el alojamiento humano (Karlen *et al.*, 1997).

En el mismo sentido, para Doran y Parkin la calidad del suelo consiste en la habilidad que tiene el mismo para operar dentro de los confines del ecosistema y la utilización de la tierra, con el fin de sostener la productividad, preservar la calidad del medio ambiente

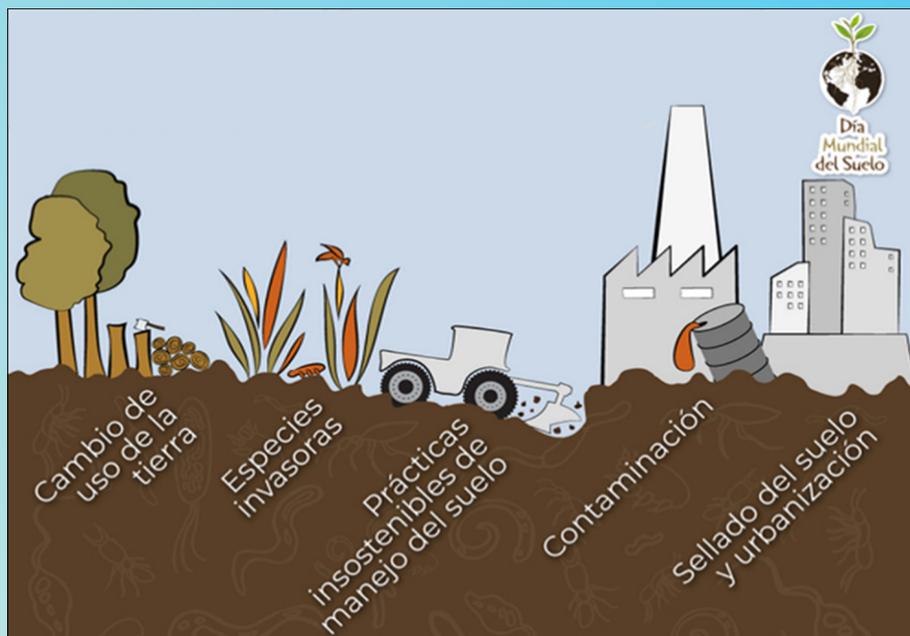


Fig. 2. Actividades del hombre que disminuyen la calidad del suelo (FAO, 2020).

y fomentar la salud de las plantas y los animales (Doran-Parkin, 1994, citados en Bone *et al.*, 2010). Como puede observarse, ambas definiciones consideran la importancia de valorar, cuidar y mantener en buen estado los suelos por su importancia para la vida y en particular para la alimentación.

No obstante, durante los últimos 75 años, los suelos han sufrido una aceleración en los procesos de daño como la erosión, la disminución de la fertilidad y la pérdida de la biodiversidad del suelo. En este sentido, la degradación del suelo traducida como la disminución de su habilidad para ofrecer servicios ecosistémicos se ha convertido en un problema a nivel mundial, el cual implica riesgos para: la seguridad alimentaria, la capacidad de retención de agua, la pérdida de la biodiversidad y el aumento de las emisiones de dióxido de carbono y metano (Etchevers, 2020).

Al respecto, el Banco Mundial y la ONU señalan que la superficie total del planeta es de 127, 341 millones de km², aproximadamente, de los cuales sólo el 11% es útil para la agricultura, es decir, se dispone más o menos de 14 millones de km² para la producción agrícola (Banco Mundial, 2015). En el mismo sentido, la FAO en el 2016, mencionó que la degradación mundial del suelo alcanzaría al 33% del área cultivable, con un posible aumento del 90% en los

próximos 30 años (FAO, 2016). Esto impacta de manera negativa la producción de alimentos y representa un riesgo para el cumplimiento del Derecho Humano a la Alimentación debido a la baja biodisponibilidad del suelo sano.

Afortunadamente, en los últimos años se han implementado diversas campañas de concientización sobre el tema, un ejemplo de lo anterior es representado por la *Alianza Mundial por el Suelo para la Seguridad Alimentaria y la Adaptación al Cambio Climático así como la Mitigación de sus Efectos*, establecida el 7 de septiembre de 2011 para sensibilizar a los encargados de tomar decisiones sobre la importancia de los suelos en la seguridad alimentaria, haciendo cumplir los preceptos de la *Carta mundial de los suelos de 1982* (IAEA, 2023); así mismo, en el año 2014, la ONU estableció por primera vez el día 5 de diciembre como el “día mundial del suelo” (Fig. 1) (ONU,2023).

Causas de la degradación del suelo

Como ya se mencionó, la erosión es un factor clave en la degradación del suelo, pero su impacto se ve acelerado por diversas actividades humanas. La expansión agrícola, ganadera y forestal, junto con la eliminación de residuos, el crecimiento urbano, el transporte y las actividades industriales, contribuyen significativamente a este proceso (Fig.2)

(Cotler *et al.*, 2020). Como resultado, el suelo sufre alteraciones en sus propiedades fisicoquímicas, una reducción en su capacidad de almacenamiento de agua y la acumulación de sustancias contaminantes (Benumea-Díaz, 2021). Estos efectos no solo afectan la productividad agrícola, incrementando los costos de producción, sino que también representan un riesgo para la seguridad alimentaria, comprometiendo el acceso a recursos esenciales (FAO, 2019).

Así, las causas del deterioro del suelo se pueden clasificar en las siguientes categorías: a) Biológica o relacionada con la disminución de la actividad microbiana de la rizosfera; b) Química, por el exceso del uso de agroquímicos y cambio de pH; c) Ecológica, vinculada al cambio climático y deforestación, d) Física, derivada de la pérdida de la capa fértil de la tierra por el uso de maquinaria de labranza, vientos o inundaciones (Kogut, 2023), e) Antropogénica, relacionada directamente con la intervención del hombre.

Remediación del suelo mediante la nanotecnología

No obstante que, el panorama se muestra un tanto complejo, la tecnología y la ciencia proponen una posible solución a través del uso de la

nanotecnología. En este sentido, el National Human Genome Research Institute en su página web, al definir nanotecnología señala que es la materia utilizada a nivel atómico y molecular que puede ser usada en diversos campos como la agricultura, la medicina, ciencias de la computación e incluso en la genómica. Para que se entienda mejor lo anterior, los materiales utilizados en la nanotecnología se encuentran en una escala menor a los 100 nanómetros de tamaño (Fig. 3) y para establecer un punto de comparación, se puede señalar que un nanómetro es equivalente a una diezmilésima parte del diámetro de un cabello (NIH, 2024).

Por esta razón, la nanotecnología puede contribuir en la remediación de suelos degradados a través de la innovación de agroquímicos como nanofertilizantes, nanoherbicidas, nanoplaguicidas, nanopartículas para el control de fitopatógenos, nutrientes nanoencapsulados, entre otros (Fig. 4). Algunos ejemplos de lo anterior son los siguientes:

Gil-Díaz *et al.*, (2019), señala que se utilizaron nanopartículas de hierro cero valente para reducir la contaminación por arsénico y mercurio en suelos industriales abandonados. Este estudio se realizó durante un periodo de 32 meses y el tamaño de las nanopartículas fue aproximadamente de 60 nanómetros, lo cual le otorgó una alta

reactividad química y una amplia superficie para atrapar contaminantes, disminuyendo la posibilidad de que los contaminantes se disuelvan en agua; con lo cual, se logró prevenir más del 80% de la lixiviación de arsénico. Adicionalmente, el uso de nanohierro promueve la recuperación del suelo y el crecimiento de plantas que ayudan a disminuir la contaminación del suelo.

Igualmente, Bolan (2014), mencionó que las técnicas a base de hierro se llevan a cabo inyectando o asperjando una solución coloidal de nanopartículas en el suelo contaminado; esto, más la ayuda de la presión y la gravedad degradan compuestos orgánicos clorados (tricloroetileno) que los degrada a compuestos más sustentables. Otro ejemplo, es la utilización de arcillas y zeolitas a escala nanométrica, lo cual, permite una mejora en la capacidad de retención del agua y la liberación lenta de fertilizantes, lo que aumenta la eficiencia en el uso del agua y los nutrientes por parte de las plantas (Sekhon, 2014).

Otro uso de las nanopartículas es la inhibición del desarrollo de fitopatógenos. En este sentido, el uso de nanopartículas se puede considerar como una solución indirecta y sustentable al disminuir el uso de fungicidas y plaguicidas que contaminan el suelo. Por ejemplo, al evaluar el impacto de las nanopartículas

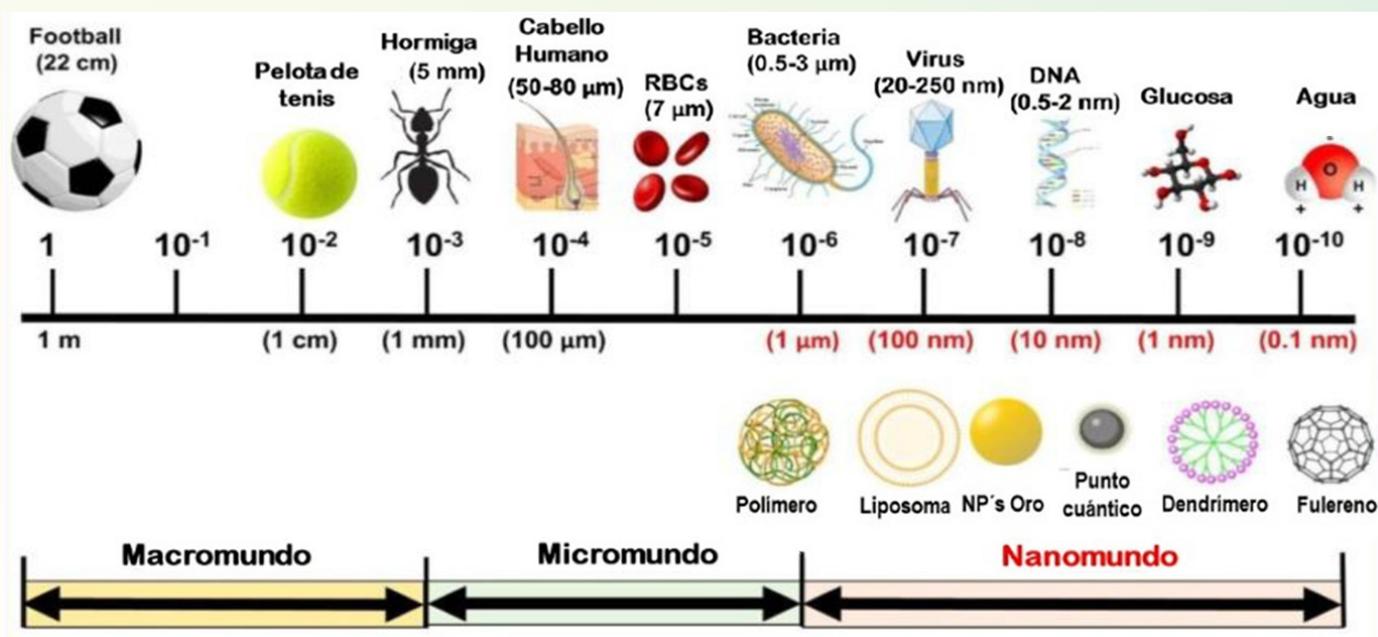


Fig. 3. Escala nanométrica que muestra el comparativo entre algunos objetos, organismos, células y nanomateriales (Kumar *et al.*, 2023).

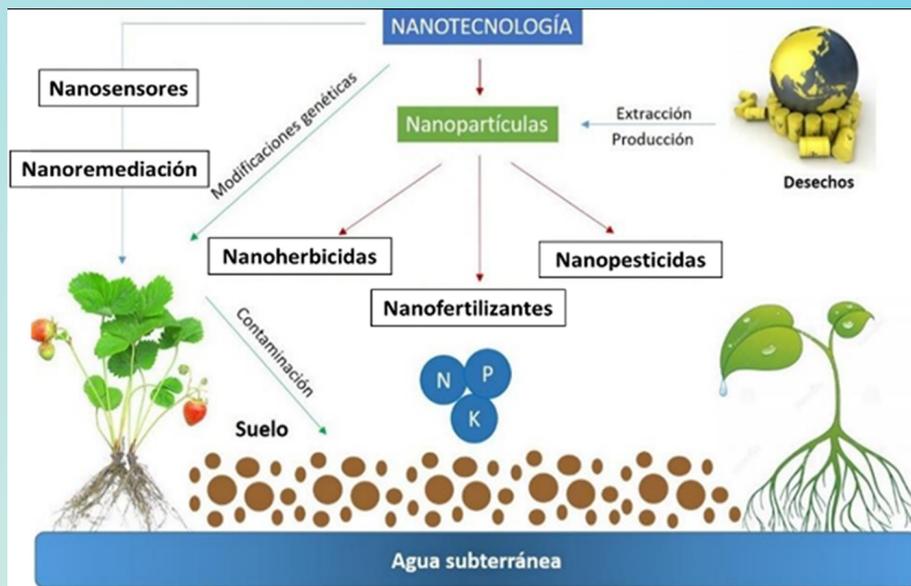


Fig. 4. Impacto de la nanotecnología en la agricultura y el suelo (Lira-Saldívar, s.a.)

de óxido de zinc (ZnO), óxido de cobre (CuO) y óxido de hierro (Fe₂O₃) en un entorno in vitro, centrado en dos enfermedades fúngicas: la pudrición de la raíz, provocada por *Fusarium oxysporum*, y el tizón, causado por *Alternaria solani*; se encontraron resultados positivos sobre la inhibición (80%) de ambos hongos (Vera-Reyes, et al., 2019).

Y casi para concluir, es importante comentar que existen hallazgos que indican que los fertilizantes de liberación lenta, los nutrientes encapsulados en microesferas y las mezclas de nanomateriales, específicamente, las nanopartículas de óxidos de Zinc, Hierro, Manganeso y Cobre, poseen la capacidad de proporcionar micronutrientes al suelo o a las hojas, lo que resulta en un incremento en la productividad de los cultivos. Además, estos elementos pueden ofrecer un efecto sinérgico que actúa en contra de varios fitopatógenos (Deka et al., 2022).

A partir de lo ya mencionado, puede concluirse que el uso de nanopartículas podría contribuir a la recuperación de los suelos, mejorando así la producción de alimentos y fortaleciendo la seguridad alimentaria ya que hasta el momento, la literatura señala que utilizar nanomateriales para limpiar contaminantes, mejora la fertilidad del suelo y reduce la erosión, logrando así, una producción agrícola más eficiente y

sostenible, sin embargo, como aún existe una controversia sobre sus efectos en la salud y en su traslocación dentro de las plantas, se siguen realizando investigaciones que permitirán discernir sobre la seguridad de su uso.

Referencias

Banco Mundial. (2015). *World Bank Open Data. Tierras cultivables. (% del área de tierra)*. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.LND.ARBL.ZS>

Benumea-Díaz, M. (2021). *Impacto de la degradación ambiental del suelo para la actividad agrícola en la seguridad alimentaria en México* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. UNAM – Dirección General de Bibliotecas. <http://132.248.9.195/ptd2021/junio/0812719/Index.html>

Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., Kirkham, B., & Scheckel, K. (2014). Remediación de suelos contaminados con metales pesados ¿Movilizar o inmovilizar? *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141-166. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.12.018>

Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36(6), 609–622. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.010>

Cotler, H., Corona, J. A., Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. *Investigaciones geográficas*, (101). <https://doi.org/10.14350/ig.59976>

Deka, B., Nisha, S. N., Baruah, C., Babu, A., & Satkar, S. (2022). Agricultural Pest Management

with Plant-Derived Nanopesticides: Prospects and Challenges. *Journal of Applied Nanotechnology*, 1(1), 1-9. https://www.researchgate.net/publication/360018959_Agricultural_Pest_Management_with_Plant-Derived_Nanopesticides_Prospects_and_Challenges

Etchevers B., J. D., Cotler, H., & Hidalgo, C. (2020). Salir de la invisibilidad: nuevos retos para la ciencia del suelo. *Terra Latinoamericana*, 38, 931-938. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.867>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2019). *Detengamos la erosión del suelo para garantizar la seguridad alimentaria en el futuro*. <https://www.fao.org/newsroom/story/Let-StopSoilErosion-to-ensure-a-food-secure-future/es>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2016). *Estado mundial del recurso suelo. Resumen técnico*. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>

FAO (Food and Agriculture Organization). (2015). <https://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/277721/>

Gil-Díaz, M., Rodríguez-Valdés, E., Alonso, J., Baragaño, D., Gallego, J. R., & Lobo, M. C. (2019). Nanoremediation and long-term monitoring of brownfield soil highly polluted with As and Hg. *Science of the Total Environment*, 686, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.183>

IAEA. (2023). Alianza Mundial por el Suelo (GSP). Recuperado el 25 noviembre, 2023, de: <https://www.iaea.org/es/el-oiea/alianza-mundial-por-el-suelo-gsp>

Kogut, P. (2023). Degradación del suelo: técnicas para evitar sus efectos. Blog digital disponible en: <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/>

Kumar, P., Singh, P., Chauhan, S., Swaroop, M. N., Bhardwaj, A., Datta, T. K., & Nayan, V. (2023). Nanotechnology for animal sciences-new insights and pitfalls: A review. https://www.researchgate.net/publication/369551626_Nanotechnology_for_Animal_Sciences-New_Insights_and_Pitfalls_A_Review

NIH (National Human Genome Research Institute). (2024). Disponible en: <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Nanotecnologia>. Consultado el 01 de febrero de 2025.

ONU. (2022). Ya somos 8 mil millones de personas. <https://onu-habitat.org/index.php/ya-somos-8-mil-millones-de-personas>

ONU. (2023). Día Mundial del Suelo 5 de diciembre. Recuperado el 28 de enero, 2024, de: <https://www.un.org/es/observances/world-soil-day>

Porta, J., López-Acevedo, M., & Poch, R. M. (2014). *Edafología: uso y protección de suelos*. Madrid: Mundi-Prensa S. A. de C. V.

Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*, 7, 31–53. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4038422/>

Vera-Reyes, I., Esparza-Arredondo, I. J. E., Lira-Saldívar, R. H., Granados Echegoyen, C. A., Alvarez-Roman, R., Vásquez-López, A., et al. (2019). In-vitro antimicrobial effect of metallic nanoparticles on phytopathogenic strains of crop plants. *Journal of Phytopathology*, 167(7/8), 461–469. <https://doi.org/10.1111/jph.12818>