

Nanotechnology in combating plant pathogens: Emerging trends, chances, and challenges

Nanotecnología para controlar fitopatógenos: Nuevas tendencias, posibilidades y desafíos

Mahendra K. Rai*, Visiting Scientist, Department of Microbiology, Nicolaus Copernicus University, Torun, CP. 87100, Poland; **Graciela Dolores Avila-Quezada**, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, Escorza 900, Chihuahua, Chihuahua, CP. 31000, México.

*Corresponding author: mahendra.raai@v.umk.pl

Received: December 26, 2022.

Accepted: December 28, 2022.

Rai MK and Avila-Quezada GD. 2023. Nanotechnology in combating plant pathogens: Emerging trends, chances, and challenges. Mexican Journal of Phytopathology 41(1).

DOI: <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2212-6>

First DOI publication: December 30, 2022.

Primera publicación DOI: 30 de Diciembre, 2022.

The journey from the green revolution to the gene revolution has generated many environmental problems including climate change which is one of the biggest threats to human survival. At the dawn of the 21st century, nanotechnology has emerged as a powerful tool and has been playing a pivotal role in every sphere of life such as biomedical, food and agriculture, electronics, energy, textiles, and cosmetics, among others.

The global population is increasing at a fast rate and according to a United Nations report, by 2050

La transición de la revolución verde a la revolución génica ha generado muchos problemas ambientales, incluido el cambio climático, una de las mayores amenazas para la humanidad. En los albores del siglo XXI, la nanotecnología se ha convertido en una herramienta poderosa y ha tenido un desempeño fundamental en todos los ámbitos de la vida, como la biomédica, alimentación y agricultura, electrónica, energía, textiles y cosméticos, entre otras.

La población mundial está aumentando a un ritmo acelerado y, según un informe de las Naciones Unidas, para 2050 la población mundial aumentará a 9800 millones (Lowry *et al.*, 2019). Para una población tan grande, se necesita un suministro de alimentos adicional mientras que el suelo agrícola disponible tiene limitaciones para generar el rendimiento requerido de los cultivos. Más aún, la demanda cada vez mayor de agroquímicos ha generado el aumento del costo productivo, por un lado, mientras que por otro lado, los patógenos

the population of the world will surge to 9.8 billion (Lowry *et al.*, 2019). For such a vast population we need additional food supply while the existing land has limitations of crop yield. Moreover and moreover, the ever-increasing demand for agricultural chemicals has increased the cost on one hand while on the other hand the pathogens and pests have developed resistance to the available fungicides and pesticides.

The biggest challenge before scientists, policymakers, government, and the public at large is how to increase the yield to feed the population by 2050. The researchers are trying to find out the proper solutions to develop nature-based solutions for sustainable agriculture which should be environmental-friendly and be able to feed the hunger of the exploded population globally. It is evident that we need to reduce the high chemical input in agriculture by using nature-based solutions such as plant extracts/ secondary metabolites or integrating them with the low amount of traditionally used chemicals, but another limitation is that natural compounds are not stable and rapidly affected by the change of environmental conditions. In such a situation nanotechnology has come to rescue the environment and crops by using the minimum amount with maximum yield without any chance of resistance development.

Nanotechnology deals with application of nanomaterials in the size range of 1-100 nm which can be synthesized by various physical, chemical, and biological methods. The latter is natural, cost-effective, eco-friendly, simple, more bioactive, biocompatible, and an excellent option for green and sustainable synthesis. The nanomaterials thus generated are less toxic to the aquatic flora and fauna, environment, and humans. However, our knowledge about toxicity is insufficient to draw a convincing conclusion, and therefore, extensive experimentation and analysis are essentially required to unzip the evidence-based clues for

y plagas han desarrollado resistencia a los fungicidas y plaguicidas disponibles.

El mayor desafío al que se enfrentan los científicos, productores, políticos, gobierno y la sociedad en su conjunto es cómo aumentar el rendimiento para alimentar a la población para el año 2050. Los investigadores están tratando de encontrar soluciones adecuadas para desarrollar estrategias basadas en soluciones naturales para una agricultura sostenible que debe ser amigable con el ambiente y mitigar el hambre de la población mundial. Es evidente que necesitamos reducir la alta cantidad de productos químicos en la agricultura mediante el uso de soluciones naturales, como extractos de plantas/metabolitos secundarios o integrándolos con un bajo uso de productos químicos utilizados tradicionalmente. Aunque otra limitación es que los compuestos naturales no son estables y son rápidamente afectados por los cambios ambientales. En tal situación, la nanotecnología ha emergido para rescatar al ambiente y los cultivos, utilizando mínimas cantidades con máximos rendimientos sin ninguna posibilidad de desarrollo de resistencia.

La nanotecnología se ocupa de la aplicación de nanomateriales en el rango de tamaño de 1-100 nm que pueden sintetizarse mediante diversos métodos físicos, químicos y biológicos. Este último es natural, rentable, ecológico, simple, más bioactivo, biocompatible y una excelente opción para la síntesis ecológica y sostenible. Los nanomateriales generados así son menos tóxicos para la flora y fauna acuática, el ambiente y los humanos. Sin embargo, nuestro conocimiento sobre la toxicidad es insuficiente para llegar a una conclusión convincente y, por lo tanto, se requiere esencialmente una experimentación y un análisis extenso para descifrar las claves basadas en evidencia para determinar la toxicidad y así tener una mejor comprensión de los nanomateriales.

Estos nanomateriales pueden ser inorgánicos (metales y óxidos metálicos), orgánicos (materiales

the determination of toxicity to have a better understanding of nanomaterials.

These nanomaterials may be inorganic (metal and metal oxides), organic (biodegradable materials dendrimers, liposomes, cyclodextrins, micelle, etc.) or carbon-based (graphene, fullerene, single and multi-walled carbon nanotubes). In this context, more research has been focused on nanomaterials of inorganic origin. These include nanoparticles of metals their oxides and metalloids. Although these materials are bioactive, they are not biodegradable, and therefore, nanoparticles of biodegradable materials such as chitosan and sulfur can be applied so that there is no chance of toxicity.

Usually, plant diseases can be tackled by three major steps: diagnosis of the pathogens, delivery of fungicides/bactericides for slow delivery, and effective control of plant pathogens without migrating to the environment in the general and aquatic environment in particular as well as humans. Further nanomaterials can be applied to treat plant pathogens for the sustainable management of plant diseases.

The early detection of plant diseases is a crucial step in the management of plant pathogens. In light of this, nanosensors can play important role in the detection of plant diseases caused by fungi, bacteria, viruses, phytoplasma, etc. (Elmer and White, 2018). Generally, gold nanoparticle-based nanosensors, immunosensors, and DNA-based sensors are effective for the rapid detection of plant disease. After the detection of the diseases nanomaterials such as nanoparticles, liposome, niosomes, hydrogels or their hybrids can be used for the slow delivery of microbicides against pathogens. For the agri-chemical delivery, encapsulation of nanoparticles with fungicides is fundamentally required to avoid sudden delivery of these microbicides in order to protect against the harmful effect on the environment and humans.

biodegradables, dendrímeros, liposomas, ciclodextrinas, micelas, etc.) o basados en carbono (grafeno, fullereno, nanotubos de carbono de pared simple y múltiple). En este contexto, las investigaciones se han centrado en los nanomateriales de origen inorgánico. Estos incluyen nanopartículas de metales, sus óxidos y metaloides. Aunque estos materiales son bioactivos, no son biodegradables, por lo que se pueden aplicar nanopartículas de materiales biodegradables como el quitosano y el azufre para evitar la posibilidad de toxicidad.

En general, las enfermedades de plantas se pueden abordar en tres pasos principales: diagnóstico de los patógenos, aplicación de fungicidas/bactericidas como fase reactiva, y control eficaz de los fitopatógenos, sin dañar al ambiente en general y al medio acuático en particular, así como evitar daños a la salud humana. Otros nanomateriales se pueden aplicar para tratar a los fitopatógenos para el manejo sostenible de las enfermedades de plantas.

La detección temprana de enfermedades es un paso crucial en el manejo de fitopatógenos. A la luz de esto, los nanosensores pueden desempeñar un rol importante en la detección de enfermedades de las plantas causadas por hongos, bacterias, virus, fitoplasmas, etc. (Elmer y White 2018). En general, los nanosensores basados en nanopartículas de oro, los inmunosensores y los sensores basados en ADN son efectivos para la detección rápida de patógenos. Después de la detección de enfermedades, se pueden utilizar nanomateriales como nanopartículas, liposomas, niosomas, hidrogeles o sus híbridos para la liberación lenta de microbicides contra patógenos. En el caso de agroquímicos, es posible la encapsulación de nanopartículas con fungicidas para evitar la acción inmediata de estos microbicides con el fin de proteger el ambiente y la salud humana.

Existen amplias oportunidades para el uso sostenible de nanomateriales en la agricultura para lograr la producción abundante de cultivos, evitando

There are ample opportunities for the sustainable use of nanomaterials in agriculture for bumper production of crops avoiding toxicity. Some of the nanomaterials can be used for dual purposes: for the management of plant pathogens (Avila-Quezada *et al.*, 2022a), and also as essential elements for crops (Avila-Quezada *et al.*, 2022b). Nanotechnology-based crop protection also promotes crop yields and the sanctity of the environment can also be maintained. Eventually, it is sure that 21st century will be governed by a nanobiotechnology-based revolution for sustainable and climate-friendly agriculture without jeopardizing the existence of living beings. However, before its application and commercialization many ethical issues, benefits, and risks should be addressed.

la toxicidad. Algunos de los nanomateriales se pueden utilizar con un doble propósito: para el manejo de patógenos de plantas (Avila-Quezada *et al.*, 2022a), y también como nutrientes esenciales para los cultivos (Avila-Quezada *et al.*, 2022b). La protección de cultivos basada en nanotecnología promueve el rendimiento y también se puede mantener la sanidad del medio ambiente. Eventualmente, es seguro que el siglo XXI estará regido por una revolución basada en la nanobiotecnología para una agricultura sostenible y amigable con el clima, sin poner en peligro la existencia de los seres vivos. Sin embargo, antes de su aplicación y comercialización se deben abordar muchos aspectos éticos, beneficios y riesgos.

~~~~~ Fin de la versión en Español ~~~~~

## CITED LITERATURE

- Avila-Quezada GD, Golinska P and Rai M. 2022a. Engineered nanomaterials in plant diseases: can we combat phytopathogens? *Applied Microbiology and Biotechnology* 106(1): 117-129. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11725-w>
- Avila-Quezada GD, Ingle AP, Golińska P and Rai M. 2022b. Strategic applications of nano-fertilizers for sustainable agriculture: Benefits and bottlenecks. *Nanotechnology Reviews* 11(1): 2123-2140. <https://doi.org/10.1515/ntrev-2022-0126>
- Elmer W and White JC. 2018. The Future of Nanotechnology in Plant Pathology. *Annual Review of Phytopathology* 56: 111-133. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-080417-050108>
- Lowry GV, Avellan A and Gilbertson LM. 2019. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. *Nature Nanotechnology* 14(6): 517-522. <https://doi.org/10.1038/s41565-019-0461-7>