



Uso de la nanotecnología en el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales

Use of nanotechnology in *in vitro* plant tissue culture

Gael Francisco García-Merino^{ID}, Raúl Colorado-Peralta^{ID},
Carlos Alberto Cruz-Cruz*^{ID}

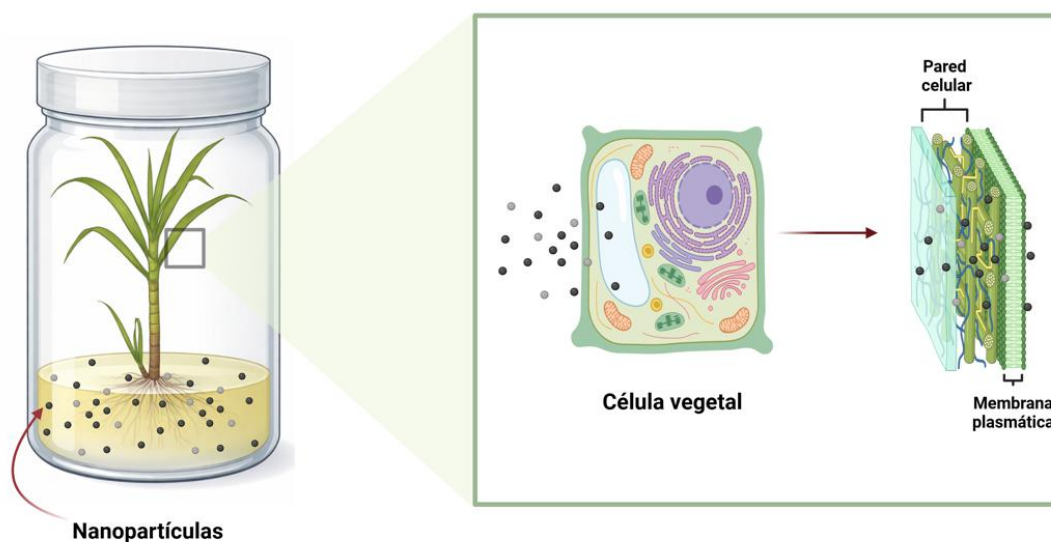
Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas, Veracruz,
México.

*Autor para correspondencia

Correo electrónico: calcruz@uv.mx (C. Cruz.Cruz)

Historial del artículo:

Recibido: 8 Diciembre 2025 / Recibido en forma revisada: 3 Enero 2026 / Aceptado: 10
Enero 2026 / Publicado online: 15 Enero 2026.



“En la escala nanométrica, donde todo parece imperceptible, está ocurriendo un cambio en el cultivo de tejidos vegetales”

Resumen

La nanotecnología estudia la materia a tamaños extremadamente pequeños, donde las nanopartículas presentan propiedades especiales y pueden interactuar con mayor facilidad. Estas características pueden aplicarse en diferentes áreas, incluida la agricultura. Actualmente, este sector enfrenta varios desafíos, como el aumento de la demanda de alimentos, los efectos del cambio climático y la necesidad de reducir el uso de agroquímicos. Por ello, es importante buscar nuevas tecnologías que permitan producir alimentos de manera más eficiente y sostenible. Por otro lado, el cultivo de tejidos vegetales aprovecha la capacidad de las células vegetales para regenerar plantas completas en condiciones controladas. La integración de ambas disciplinas permite utilizar nanomateriales que estimulan la regeneración, el crecimiento y la resistencia de las plantas. El objetivo de este trabajo es mostrar algunas aplicaciones y su potencial para impulsar una agricultura más productiva, sostenible y preparada para afrontar los retos actuales.

Palabras clave: Biotecnología, cultivo de tejidos vegetales, nanotecnología, plantas.

Abstract

Nanotechnology studies matter at extremely small sizes, where nanoparticles exhibit special properties and can interact more easily. These characteristics, they can be applied in different areas, including agriculture. Currently, this sector faces several challenges, including rising food demand, the effects of climate change, and the need to reduce the use of agrochemicals. Therefore, it is important to seek new technologies that allow for more efficient and sustainable food production. On the other hand, plant tissue culture exploits plant cells' ability to regenerate entire plants under controlled conditions. The integration of both disciplines enables the use of nanomaterials that stimulate plant regeneration, growth, and resistance. The aim of this work is to demonstrate applications and their potential to promote more productive, sustainable agriculture prepared to face current challenges.

Keywords: Biotechnology, nanotechnology, plant tissue culture, plants.

La nanotecnología está transformando la agricultura y el cultivo de tejidos vegetales al mejorar la productividad y la calidad de las plantas. El uso de nanopartículas permite la liberación controlada de agroquímicos, mejora la absorción de nutrientes y fortalece la tolerancia al estrés. Además, reduce el impacto ambiental, potencia las estrategias de control biológico y optimiza procesos biotecnológicos como la micropropagación vegetal.

¿Qué es la nanotecnología?

La nanotecnología es la disciplina que estudia materiales invisibles al ojo humano, es decir, analiza partículas tan diminutas que miles de ellas podrían caber en el grosor de un cabello humano. Estas nanopartículas pueden tener tamaños que oscilan entre 1 y 100 nanómetros (una millonésima parte de 1 milímetro), lo que les permite ingresar a las células con mayor facilidad. A esta escala, los materiales comunes adquieren propiedades extraordinarias debido a su mayor superficie y reactividad química (Belay *et al.*, 2023).

La nanotecnología fue propuesta conceptualmente en 1959 y desarrollada teóricamente en las décadas siguientes. Su aplicación abarca múltiples campos que han avanzado enormemente, como el desarrollo de la nanoencapsulación para la liberación controlada de fármacos en medicina, el uso de los nanotubos de carbono en la electrónica, así como el empleo de diversos nanomateriales en la agricultura, la industria de los alimentos y la remediación de la contaminación ambiental. La nanotecnología es invisible a nuestros ojos y no es magia, sino la suma de años de investigación e innovación aplicada con un análisis riguroso.

Aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura

Durante los últimos 20 años, investigaciones en todo el mundo han desarrollado una amplia variedad de nanoestructuras con diversas aplicaciones. Por ejemplo, en el ámbito agrícola se han propuesto soluciones sostenibles y seguras. Algunos ejemplos son los cultivos protegidos con nanoplaguicidas que no contaminan el suelo con compuestos químicos altamente tóxicos, así como el uso de nanocápsulas para la entrega de fertilizantes y pesticidas que liberan su contenido de manera controlada en respuesta a señales como la humedad o el pH del suelo. Además, el dióxido de titanio nanoestructurado descompone, bajo la luz solar, contaminantes orgánicos como aceites y tintes industriales en el agua, por lo que se ha empleado para limpiar ríos y mantos acuíferos destinados al uso agrícola. De igual manera, algunos nanomateriales, como las nanopartículas magnéticas de óxido de hierro, absorben metales pesados de suelos contaminados como plomo, arsénico o mercurio, evitando excavaciones costosas y disruptivas.

En conjunto, estos avances muestran que la nanotecnología puede transformar la agricultura al hacerla más eficiente y menos contaminante. Al optimizar el uso de fertilizantes y pesticidas, limpiar suelos, agua, y reducir la presencia de sustancias tóxicas, estas innovaciones permiten producir más alimentos con menor impacto ambiental. Así, la nanotecnología se consolida como una herramienta clave para impulsar una agricultura más sostenible y responsable con el entorno.

Actualmente, diversas instituciones públicas y empresas privadas están desarrollando materiales biodegradables a partir de fuentes naturales, como las fibras de plantas o las cáscaras de animales (como camarón, langosta, etc.). Estas nanopartículas biodegradables se descomponen con el agua y el dióxido de carbono una vez cumplida su misión, evitando impactos a largo plazo en la biodiversidad o en la salud humana.

En el presente y en el futuro, una de las áreas de aplicación más importantes de la nanotecnología es el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, donde se ha demostrado que las nanopartículas mejoran la nutrición y reducen el estrés de los tejidos cultivados *in vitro*, lo que permite optimizar los recursos y obtener plantas sanas.

¿Qué es el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales?

El cultivo de tejidos vegetales (CTV) se define como el conjunto de métodos y técnicas realizados bajo condiciones asépticas, que permiten el establecimiento, mantenimiento y desarrollo de pequeños fragmentos de una planta (células, tejidos u órganos), cultivados en un medio artificial con una composición nutritiva específica e incubados en condiciones ambientales controladas (Chávez-Ortiz *et al.*, 2024; Bettoni *et al.*, 2024).

Para llevar a cabo el CTV, se debe seleccionar adecuadamente la planta madre a clonar, la cual debe ser joven, sana y libre de patógenos, con un buen estado nutricional y fisiológico. De esta planta madre se obtiene un explante, que puede ser semilla, hoja, tallo o raíz. Los explantes seleccionados inicialmente se someten a un proceso de desinfección; para ello, se emplean sustancias antimicrobianas, como soluciones de cloro o de alcohol. Una vez desinfectados, los explantes se transfieren a frascos estériles (de vidrio o de plástico) que contienen un sustrato llamado “medio de cultivo”. Éste cumple la función de proporcionar a la planta los nutrientes esenciales. Posteriormente, los explantes sembrados deben pasar por un área de incubación a una temperatura adecuada (22-25 °C), con 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, para que finalmente sean aclimatados en invernadero (Figura 1).

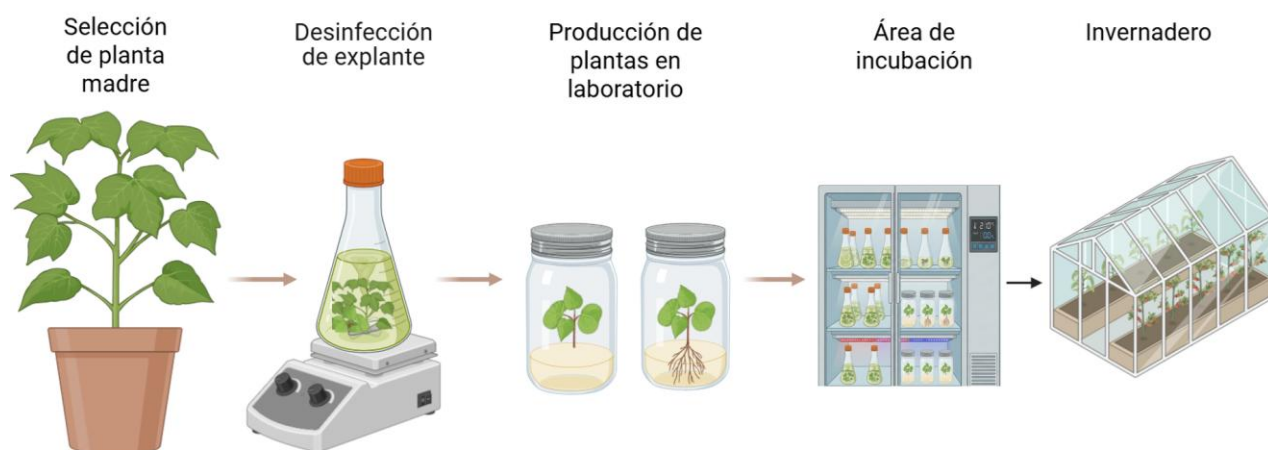


Figura 1. Etapas generales del cultivo de tejidos vegetales.

Figure 1. General stages in plant tissue culture.

La principal ventaja del CTV es la posibilidad de controlar las condiciones del cultivo, lo cual resulta casi imposible en campo, donde factores como el ataque de plagas, la salinidad del suelo o las sequías son recurrentes. Las amplias aplicaciones de CTV incluyen estudios de procesos bioquímicos y fisiológicos, la obtención de plantas libres de

enfermedades, la propagación uniforme a escala comercial y el mejoramiento genético, siendo este último una alternativa eficiente para satisfacer la alta demanda industrial de productos alimentarios y farmacéuticos. Además, el CTV es esencial en diversos programas de conservación vegetal, protegiendo especies en riesgo de extinción y promoviendo el uso sostenible de los recursos.

Perspectivas de la nanotecnología aplicada al cultivo de tejidos vegetales

La nanotecnología aplicada al CTV ofrece un panorama prometedor para la innovación agrícola al combinar avances de la ciencia básica con estrategias que optimizan el uso de los recursos económicos. Su implementación permite solucionar algunos problemas frecuentes en el CTV, incrementar la cantidad o la calidad de las plantas generadas *in vitro* y/o aumentar la producción de compuestos de interés (Figura 2). La nanotecnología aplicada al CTV integra funcionalidad y sustentabilidad, posicionándose como una herramienta clave para el desarrollo de las plantas en el futuro (Guru *et al.*, 2025).

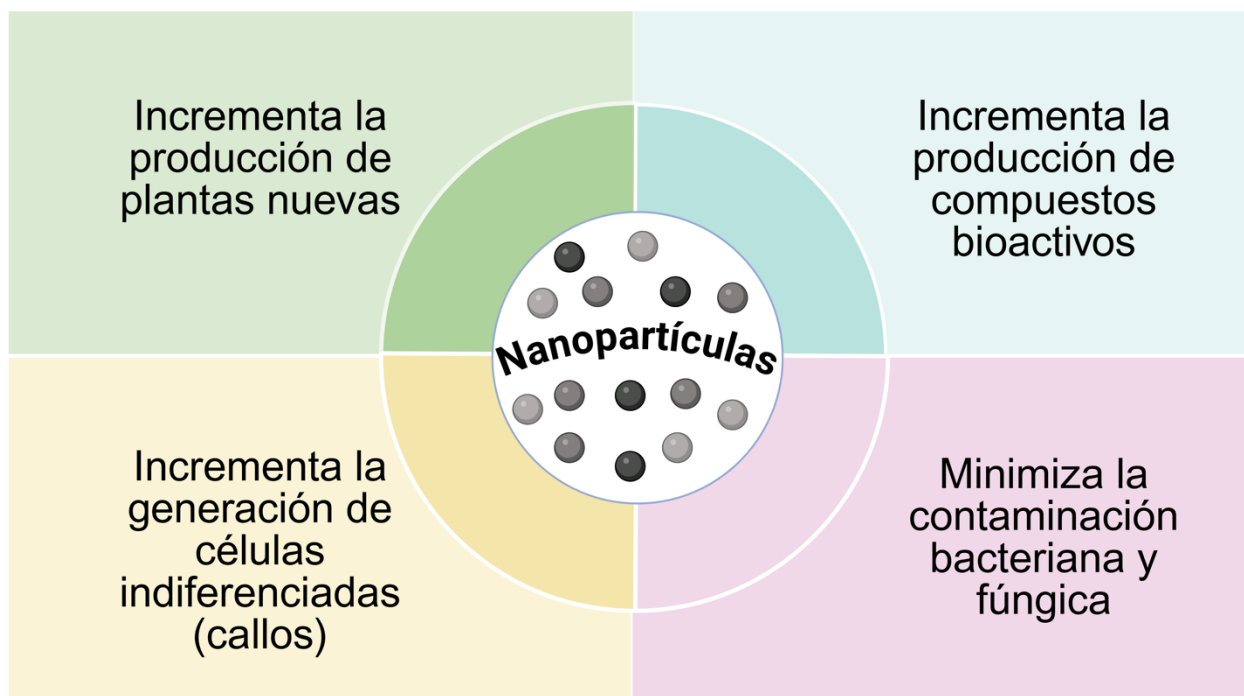


Figura 2. La nanotecnología y sus beneficios en el cultivo de tejidos vegetales.
Figure 2. Nanotechnology and its benefits in plant tissue culture.

Las aplicaciones de la nanotecnología en el cultivo de tejidos vegetales representan un avance significativo en la biotecnología agrícola. Al mejorar la absorción de nutrientes, estimular el crecimiento y fortalecer la resistencia de las plantas frente a enfermedades o condiciones adversas, los nanomateriales optimizan los procesos de propagación *in vitro* (Figura 3). Esto no solo incrementa la eficiencia en la producción de plantas de alta calidad, sino que también contribuye al desarrollo de sistemas agrícolas más sostenibles,

capaces de responder a los desafíos actuales como el cambio climático y la creciente demanda de alimentos.

En la actualidad, las nanopartículas de plata han prevenido la proliferación de hongos y bacterias en el medio de cultivo de plantas de vainilla; con ello, se ha disminuido el serio problema de la contaminación en el CTV. Además, estas nanopartículas de plata se han empleado para mejorar el crecimiento y el desarrollo del tomate. Asimismo, se ha reportado que las nanopartículas de silicio pueden aumentar la tolerancia al estrés por sequía en arroz y uvas. Otro ejemplo de los avances de la nanotecnología en el CTV es el uso de nanopartículas de potasio y fósforo como nanofertilizantes, lo que mejora la eficiencia productiva de la papa.

Por otro lado, en la planta de Stevia, que ha sido una gran alternativa frente al azúcar convencional, se ha empleado la producción de nanopartículas de óxido de zinc para mejorar la formación de brotes y aumentar la concentración de compuestos químicos naturales de interés comercial. Adicionalmente, en un cultivo agroindustrial importante como la caña de azúcar, se ha experimentado con nanotubos de carbono y se ha observado una mayor generación de brotes y una mejora en el crecimiento. Finalmente, se han realizado estudios en una planta asiática aplicando nanopartículas de quitosano (un derivado de las cáscaras de camarón), observando el incremento de la concentración de sustancias bioactivas con propiedades medicinales.

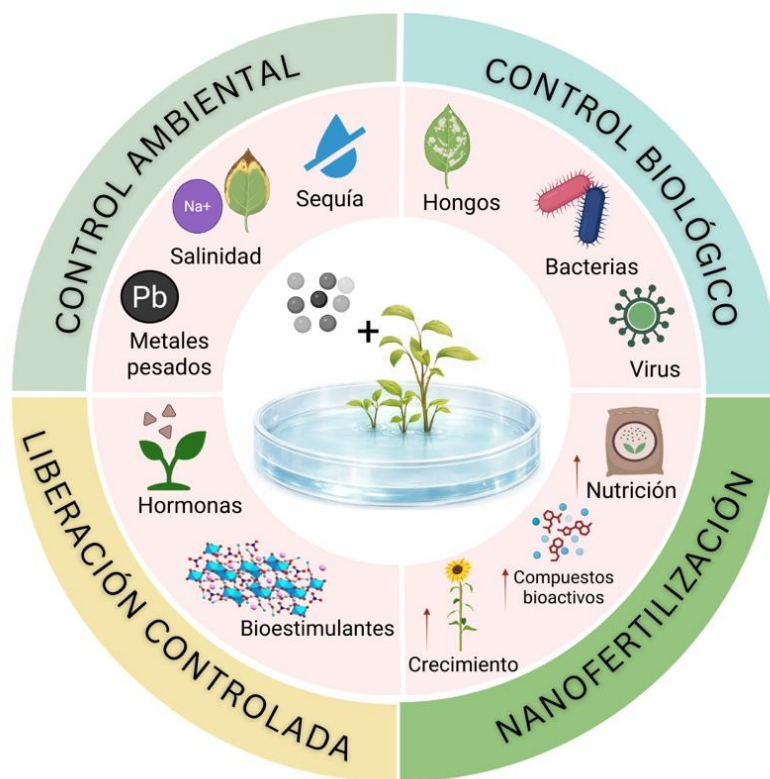


Figura 3. Aplicaciones de la nanotecnología en el cultivo de tejidos vegetales.
Figure 3. Nanotechnology applications in plant tissue culture.

Esta unión entre nanotecnología y CTV permite generar ideas para ofrecer soluciones efectivas y sostenibles, lo que confiere seguridad en la producción de diversos cultivos vegetales. En el contexto de la agricultura moderna, se espera la posible creación de nanodispositivos que permitan una liberación controlada de fitohormonas y nutrientes en el medio de cultivo, según las necesidades de la planta. Asimismo, se puede vislumbrar el uso de nanovectores para la edición génica directa en el CTV, sin necesidad de los métodos actuales de mejoramiento genético.

Conclusiones

La nanotecnología representa una revolución en el CTV, fusionando la ciencia a escala extremadamente pequeña con la biotecnología vegetal. A escala nanométrica, los materiales comunes adquieren propiedades extraordinarias, lo que permite innovaciones que combaten diversos problemas en las plantas. Esta interacción optimiza el uso de los recursos, favorece el crecimiento y produce plantas con características especiales. Esta estrategia tendrá un impacto significativo a mediano y largo plazo, apoyando múltiples investigaciones, promoviendo la sostenibilidad y contribuyendo de manera significativa al cuidado del ecosistema y a las necesidades agroproductivas del mercado.

Referencias

- Belay, T., Worku, L. A., Bachheti, R. K., Bachheti, A., & Husen, A. (2023). Nanomaterials: Introduction, synthesis, characterization, and applications. In *Advances in smart nanomaterials and their applications*. Elsevier, pp. 1–21. eBook ISBN: 9780323995672
- Bettoni, J. C., Wang, M. R., & Wang, Q. C. (2024). *In vitro* regeneration, micropropagation and germplasm conservation of horticultural plants. *Horticulturae*, 10(1), 45. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10010045>
- Chávez-Ortiz, L. I., Pérez-Molphe-Balch, E., & de la Rosa-Carrillo, L. M. (2024). Importancia de la conservación de especies de plantas: Creación del banco de germoplasma en la Universidad Autónoma de Aguascalientes, México. *Biognosis*, 1(3), 8–19. <https://doi.org/10.29267/biognosis.2024.1.3.8-19>
- Guru, G. R., Ramteke, P., & Vágvölgyi, C. (2025). Potential impacts of nanoparticles integration on micropropagation efficiency: Current achievements and prospects. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1629548. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1629548>

Información de los autores



Gael Francisco García Merino (Primer autor).

El Dr. García es ingeniero en Biotecnología por la Universidad Veracruzana (UV), maestro en ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable por el Colegio de Posgraduados y doctor en Ciencias Agropecuarias por la UV. El Dr. García cuenta con experiencia en biotecnología vegetal, innovación de sistemas biotecnológicos y sustentabilidad agropecuaria. Ha realizado estancias internacionales de investigación en Italia y España, y en 2018 recibió el Premio Estatal de la Juventud en Ciencia y Tecnología en Veracruz, México.



Carlos Alberto Cruz Cruz (Autor para correspondencia).

El Dr. Cruz es Químico Agrícola por la Universidad Veracruzana (UV), maestro en ciencias en Biología Experimental por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y doctor en Biotecnología de Plantas por el Centro de Investigación Científica de Yucatán. El Dr. Cruz realizó un postdoctorado en Curtin University of Technology, Western Australia. El Dr. Cruz es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 1 y profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Químicas, Orizaba, de la UV. Ha sido autor y coautor de publicaciones indizadas y arbitradas, así como de capítulos de libros. Además, ha editado un libro y ha dirigido y codirigido tesis de licenciatura, maestría y doctorado.